

Análise técnico-económica da produção de milho, na Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Comparação de sistemas de rega: canhão de rega e pivot

José Francisco Serôdio Pereira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho, Professor Associado com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado Jubilado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho, Professor Associado com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para a elaboração da minha tese:

- Doutor José Pimentel – meu orientador, agradeço todas as ideias, correções e opiniões discutidas ao longo de todo o trabalho.
- Doutor José Luís Teixeira – pela paciência e sabedoria transmitida ao longo da aprendizagem do programa ISAREG.
- José Meneses – pela partilha de conhecimento e informação de campo.
- Manuel Penteado – por todo o apoio e ajuda numa área que para mim não era muito desenvolvida.
- Empresa Lusiterra – por permitir utilizar a informação da Quinta da Adema.

Agradeço aos meus pilares na vida:

Ao Vasco, meu irmão, por todo o apoio e união, que foram importantes para a realização da tese.

À minha Mãe, exemplo de dedicação e amor, que sempre me incentivou durante o percurso académico e especialmente, nesta fase dos estudos.

Aos meus amigos, em especial aos que fiz ao longo destes anos no ISA, vivemos grandes momentos e que certamente nos marcaram para a vida.

A Deus, pela vida académica que tive e pelas oportunidades que me tem dado ao longo dos anos.

Dedico este trabalho ao meu Pai, que tenho a certeza que está num sítio no céu a acompanhar-nos e a olhar por nós.

Resumo

Os novos desafios que a agricultura enfrenta, como a otimização da utilização da água de rega, a distribuição da água pelos agricultores, as novas tendências da agricultura de precisão com apostas inovadoras e tecnológicas, de um modo ambientalmente sustentável e a exigência de produzir num mercado altamente competitivo, foram as bases da elaboração deste estudo.

A exploração agrícola estudada denomina-se Quinta da Adema e localiza-se na zona Sul da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Os ensaios realizados foram feitos em cinco pivots e em três canhões de rega, para a cultura de milho grão, na campanha de 2018.

As três principais metodologias em estudo desta tese são a avaliação da rega com recurso ao programa ISAREG, a análise de cartas de NDVI (numa data de pré-floração) comparadas com as cartas de produtividade e a análise económica e fundiária.

O programa ISAREG possibilitou a comparação entre os dois sistemas de rega, avaliando parâmetros como os volumes totais utilizados, os volumes perdidos por excesso, a eficiência da rega, a razão entre ET_c/ET_m e a quebra de produção. No geral, a rega através do pivot teve menores gastos de água, menores quebras de produção e melhores eficiências de rega que nas parcelas regadas por canhão de rega.

A análise das cartas de NDVI e cartas de produtividade demonstrou uma elevada correlação nas oito parcelas em estudo, significando que à data escolhida para análise do índice de vegetação (29 de julho), já havia um forte comprometimento das produtividades finais.

A estimativa do limiar de rendibilidade de produção de milho ronda, em termos médios, as 9,9 toneladas por hectare, havendo apenas três parcelas a alcançar um resultado económico positivo.

Com este trabalho, pretende-se oferecer um conjunto de propostas para resolver os problemas que alguns agricultores da Lezíria Grande (e não só) enfrentam, tendo em conta o leque de cenários obtidos nos pivots e nos canhões de rega, da exploração.

Palavras-chave: Água, sistemas de rega, carta de NDVI, carta de produtividade, milho.

Abstract

The new challenges that agriculture faces, such as optimizing the use of irrigation water, the distribution of water by farmers, the new trends in precision agriculture, with innovative and technological bets, environmentally sustainable and the requirement to produce in a very competitive market, were the bases for the elaboration of this thesis.

The agricultural exploration studied is named Quinta da Adema and is located in the South of Lezíria Grande of Vila Franca de Xira. The trials were performed in five pivots and three irrigation cannons, for the grain maize culture, in the production campaign of 2018.

Three main cases were studied in this thesis, such as, the evaluation of irrigation through ISAREG program, the NDVI maps (on a pre-flowering date) compared with productivity maps and the economic and agronomic analyse.

ISAREG program made possible the comparison between two irrigation systems, evaluating parameters such as the total volume used, lost volumes justified by excess, irrigation efficiency, ratio between ET_d/ET_m and the production breakdown. In general, irrigation through the pivots had less water losses, less production breakdown and better irrigation efficiency than the plots irrigated by cannons.

The analysis between NDVI maps and productivity maps showed a high correlation in the eight plots of study, meaning that the chosen date to analyse the vegetation index (29th of July), there was already a strong commitment of final productions.

The estimation of profitability threshold of maize approached, in average, about 9,9 tonnes per hectare, there being only three plots with a positive economic result.

This work, intends to offer a set of proposals to solve these problems that affect Lezíria Grande's farmers (and not only), using a wide range of scenarios obtained in the pivots and irrigation cannons, of this exploration.

Key words: Water, irrigation systems, NDVI map, productivity map, maize.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	2
2.1. Cultura do milho	2
2.1.1. Botânica, morfologia e fisiologia.....	2
2.1.2. Fatores limitantes da cultura	5
2.2. Dados económicos e estatísticos sobre a produção de milho.....	7
2.2.1. Produção e evolução do preço à escala mundial	7
2.2.2. Dispersão e evolução da produtividade em Portugal	8
2.2.3. Produção e evolução do preço do em Portugal.....	9
2.2.4. Economia agrícola portuguesa na última década e desafios futuros	11
2.2.5 Análise económica do ano 2017	11
2.3. A rega no milho	12
2.3.1. Importância da água e da rega na produção de milho	12
2.3.2. Métodos e sistemas de rega	13
2.3.2.1 Sistema de rega por rampa rotativa (pivot).....	14
2.3.2.2 Sistema de rega por canhão móvel.....	14
3 Materiais e métodos	16
3.1. Localização das parcelas em estudo.....	16
3.2 Caracterização edáfica.....	17
3.3. Balanço hídrico.....	18
3.3.1. Dados meteorológicos	18
3.3.2. Cálculo da evapotranspiração.....	18
3.3.3.1. Curva do coeficiente cultural	20
3.4 O ISAREG.....	21
3.4.1. Preparação dos dados	22
3.5. Agricultura de precisão: conceito e tecnologias aplicadas	28
3.5.1 Deteção remota	28
3.5.2. Cartas de NDVI.....	29
3.5.2.1. Fases críticas da cultura do milho para análise do índice de vegetação	32
3.5.3. Cartas de produtividade	32

3.6	Análise de cartas de NDVI e cartas de Produtividade.....	34
3.7	Caracterização das variedades de milho	35
3.8	Adubação das parcelas	36
3.9	Conta de cultura	37
3.10	Pragas e infestantes.....	38
4.	Resultados e Discussão.....	44
4.1	Avaliação da rega nos pivots.....	44
4.2	Avaliação da rega nos canhões.....	50
4.3	Análise global dos parâmetros de rega	53
4.4	Estatística descritiva, cartas de NDVI e cartas de produtividade (pivots).....	56
4.5	Estatística descritiva, cartas de NDVI e cartas de produtividade (canhões de rega)	62
4.6	Análise de correlação entre cartas de NDVI e cartas de produtividade	64
4.6.1.	Correlação entre o valor médio de NDVI e o valor médio de produtividade	64
4.6.2.	Correlação entre os valores das cartas de NDVI e os valores das cartas de produtividade por parcela	65
4.7	Eficiência do uso de nutrientes (N-P-K)	66
4.8	Resultados económicos e fundiários da exploração	68
5.	Conclusões.....	70
6.	Referências bibliográficas	72
Anexos	.....	76
Anexo I-A	.....	76
Anexo I-B	.....	79
Anexo II	.....	80
Anexo III	.....	82
Anexo IV	.....	83
Anexo V	.....	86
Anexo VI	.....	94

Lista de Tabelas

Tabela 1: Caracterização das variedades de milho.....	35
Tabela 2: Caracterização dos adubos.....	36
Tabela 3: Caderno de campo - Caracterização dos tratamentos fitossanitários.....	41
Tabela 4: Análise de parâmetros sobre a rega.....	53
Tabela 5: Comparação dos 2 sistemas de rega, fixando o tipo de solo predominante (Asac).	53
Tabela 6: Estatística descritiva do NDVI do pivot 1.....	56
Tabela 7: Estatística descritiva da produtividade do pivot 1.	56
Tabela 8: Estatística descritiva do NDVI do pivot 2.	57
Tabela 9: Estatística descritiva da produtividade do pivot 2.	57
Tabela 10: Estatística descritiva do NDVI do pivot 3.	58
Tabela 11: Estatística descritiva da produtividade do pivot 3.	58
Tabela 12: Estatística descritiva do NDVI do pivot 4.	59
Tabela 13: Estatística descritiva da produtividade do pivot 4.	59
Tabela 14: Estatística descritiva do NDVI do pivot 5.	60
Tabela 15: Estatística descritiva da produtividade do pivot 5.	60
Tabela 16: Estatística descritiva do NDVI dos canhões de rega.	62
Tabela 17: Estatística descritiva da produtividade dos canhões de rega.....	62
Tabela 18: Valores médios de NDVI e valores médios de produtividade, por parcela.	64
Tabela 19: Correlação final dos valores médios ($\alpha=0,05$).	64
Tabela 20: Valores de correlação por parcela ($\alpha=0,05$).	65
Tabela 21: Eficiência do uso de N.....	66
Tabela 22: Eficiência do uso de P.....	66
Tabela 23: Eficiência de uso de K.....	67
Tabela 24: Conta de cultura da exploração agrícola.	68
Tabela 25: Caracterização económica e fundiária de cada parcela.	69

Lista de Figuras

Figura 1: Fases do período vegetativo e do período reprodutivo da cultura do milho. Fonte: Brito Paes (2011).	3
Figura 2: Fenologia da cultura do milho: estágio de desenvolvimento da cultura. Fonte: Adaptação de Fancelli (1986) e Iowa State University Extension (1993).	5
Figura 3: Evolução do preço do milho no mundo, 1999-2019. (\$/tonelada). Fonte: USDA (2019).	7
Figura 4: Dispersão do milho grão em Portugal (2016). Fonte: GPP a partir de PU 2016.	8
Figura 5: Evolução da produtividade do milho (kg/ha) no período 1986-2016. Fonte: INE (2017).	8
Figura 6: Evolução da área de produção de milho grão no período 2013-2017. Fonte: INE (2017).	9
Figura 7: Evolução da produção de milho grão no período 2013-2017. Fonte: INE (2017).	9
Figura 8: Dados declarativos da área de produção de cereais, em hectares, referentes ao ano de 2018. Fonte: IFAP (2018).	10
Figura 9: Importância relativa dos cereais no triénio 2015-2017 (%). Fonte: GPP (2017).	10
Figura 10: Evolução do preço do milho-grão (euros/tonelada) no produtor (linha azul contínua). Fonte: GPP, a partir do INE (2018).	11
Figura 11: Taxas de variação (%) das produções, consumos intermédios e VAB no ano de 2017. Fonte: INE (2018).	12
Figura 12: Modelo de uma configuração de uma parcela a regar, com recurso a um aspersor-canhão. Fonte: Oliveira (2011).	15
Figura 13: Identificação das parcelas do estudo na Quinta da Adema. Fonte: Google.	16
Figura 14: Caracterização e distribuição dos solos pelas diversas parcelas.	17
Figura 15: Efeito das diferentes culturas na relação ET_c/ET_0 . Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977) citado por Oliveira (2011).	20
Figura 16: Curva dos coeficientes culturais ao longo do ciclo da cultura e definição dos períodos vegetativos correspondentes. Fonte: Allen <i>et al.</i> , (1998).	21
Figura 17: Esquema de utilização do modelo ISAREG. Fonte: Teixeira (2018).	22
Figura 18: Criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE).	23
Figura 19: Criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE) (2).	24
Figura 20: Conclusão da criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE).	24
Figura 21: Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondentes ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE), por classe textural.	26
Figura 22 : Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondentes à capacidade de campo (CC), por classe textural.	26
Figura 23: Esquema de regas do programa ISAREG. Fonte: Teixeira (2018).	27
Figura 24: Assinaturas espectrais de vegetação verde, vegetação seca e solo. Adaptado de Gunther (2005).	29
Figura 25: Carta de NDVI da exploração.	30
Figura 26: Monitor de produtividade. Fonte: John Deere.	33

Figura 27: Testemunha da utilização do herbicida.	41
Figura 28: Tratamento fitossanitário de pré-emergência.	43
Figura 29: Pivot 1- resultados do programa ISAREG.	45
Figura 30: Pivot 2 - resultados do programa ISAREG.	46
Figura 31: Pivot 3 - resultados do programa ISAREG.	47
Figura 32: Pivot 4- resultados do programa ISAREG.	48
Figura 33: Pivot 5- resultados do programa ISAREG.	49
Figura 34: Canhão 1 - resultados do programa ISAREG.	50
Figura 35: Canhão 2 - resultados do programa ISAREG.	51
Figura 36: Canhão 3 - resultados do programa ISAREG.	52
Figura 37: Carta de NDVI do pivot 1.	56
Figura 38: Carta de produtividade do pivot 1.	56
Figura 39: Carta de NDVI do pivot 2.	57
Figura 40: Estatística descritiva da produtividade do pivot 2.	57
Figura 41: Carta de NDVI do pivot 3.	58
Figura 42: Carta de produtividade do pivot 3.	58
Figura 43: Carta de NDVI do pivot 4.	59
Figura 44: Carta de produtividade do pivot 4.	59
Figura 45: Carta de NDVI do pivot 5.	60
Figura 46: Carta de produtividade do pivot 5.	60
Figura 47: Carta de NDVI dos canhões de rega.	62
Figura 48: Carta de produtividade dos canhões de rega.	62
Figura 49: Painel de apresentação do modelo ISAREG.	86
Figura 50: Menu inicial do programa ISAREG.	86
Figura 51: Escolha dos códigos dos ficheiros de saída.	87
Figura 52: Escolha do ficheiro da cultura para análise (1).	87
Figura 53: Escolha do ficheiro da cultura para análise (2).	87
Figura 54: Escolha do ficheiro da cultura para análise (3).	88
Figura 55: Escolha do tipo de solo.	88
Figura 56: Escolha do ficheiro meteorológico.	89
Figura 57: Escolha do ficheiro pluviométrico.	89
Figura 58: Denominação do ficheiro de saída.	89
Figura 59: Confirmação dos ficheiros introduzidos no programa.	90
Figura 60: Seleção do modo de introdução das regas aplicadas no programa.	90
Figura 61: Seleção do ficheiro de rega.	91
Figura 62: Ascensão capilar.	91
Figura 63: Novo Balanço Hídrico.	92
Figura 64: Seleção de um ficheiro de comando.	92

1. Introdução

O milho foi considerado a cultura mais “nacional” no panorama agrícola de 2018, sendo a cultura arvense com maior relevância. Existem em Portugal aproximadamente 75 mil explorações agrícolas onde se realiza a cultura do milho, num total de 150 mil hectares, dispersas por várias regiões nacionais (ANPROMIS, 2018).

A produção de milho no país destaca-se como uma das potencialidades produtivas da agricultura de regadio para a economia regional e nacional, fruto da produção de grão e de silagem, ambas com uma expressão bastante notável (ANPROMIS, 2018).

Este estudo prossegue diversos objetivos, entre os quais se salientam: i) a gestão eficiente do uso da água de rega para a cultura do milho, baseada na realidade de uso dois sistemas de rega, por comparação com um modelo teórico (ISAREG); ii) a análise detalhada da eficiência de aplicação dos fatores de produção, apoiada pela comparação de cartas de produtividade com os mapas de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – índice de vegetação) ao longo da campanha; iii) a análise dos resultados económicos alcançados nos dois sistemas de rega, suportada pela construção e comparação de contas de cultura.

Outra razão para a elaboração deste estudo, prende-se com a análise de como a agricultura se adaptará para conseguir produzir mais e melhor. Tendo em conta dados da FAO (2018) estima-se que no ano de 2050 a população mundial atinja o valor de 9,1 mil milhões de pessoas (mais 34% do número atual). A previsão da FAO (2018) aponta para que se tenha de aumentar a produção anual de cereais em 0,9 mil milhões de toneladas, correspondendo a um aumento da produção de alimentos em cerca de 70%.

Em Portugal, desde o ano de 2014, observa-se uma tendência de diminuição da área semeada bem como da produção de milho com sistema de regadio, embora se tenha registado um aumento no ano 2017 (INE, 2017).

Estima-se que no ano de 2018 se tenham semeado cerca de 118.220 hectares, sendo 70.078 hectares destinados à produção de milho grão e 48.142 hectares à produção de silagem. (ANPROMIS, 2018).

Os preços praticados no mercado português são basicamente idênticos aos do mercado mundial, sendo que as suas oscilações são o resultado das condições meteorológicas existentes e da sazonalidade da atividade agrícola, que alteram o equilíbrio entre a procura e a oferta de milho à escala global. No decurso do período de 2013/2014 – 2016/2017, o preço praticado no produtor de milho oscilou entre 166,8 €/t e 172,4 €/t (INE, 2017).

No mesmo período, o balanço entre importações/exportações portuguesas do setor dos cereais degradou-se em 4,9%, fruto do respetivo aumento nas importações de milho e de trigo, em 47,5% e 35,9%, respetivamente (INE, 2017). Em consequência, o grau de autoaprovisionamento dos cereais foi apenas de 20,5% (INE, 2017).

O grau de autoaprovisionamento do milho é de cerca de 31%, valor também relativamente baixo, que traduz o decréscimo na produção e o aumento do consumo interno (Barreiros, 2018; GPP, 2018).

2. Revisão bibliográfica

2.1. Cultura do milho

O milho é produzido atualmente em larga escala no mundo, contribuindo para a circulação de milhões de euros dentro do setor da agricultura.

É cultivado desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde a cota zero (nível do mar) até aos 3600 metros, demonstrando uma excelente adaptabilidade a diversos sítios, consequência dos diversos genótipos comercializados (EU, 2014).

Atualmente a produtividade média em Portugal ronda as 8 t/ha, como afirma Barreiros (2018), sendo que existem alguns (poucos) agricultores a conseguir atingir em determinadas parcelas registos muito consideráveis, como é o caso do empresário agrícola João Coimbra que, desde 1990, alcança médias sempre acima das 15 t/ha.

A par da sua importância para produção animal e para alimentação humana, tem também uma extrema importância ao nível da investigação e comercialização de variedades de plantas transgénicas (Bennetzen & Hake, 2008)

2.1.1. Botânica, morfologia e fisiologia

O milho é um cereal C4 que pertence à divisão das Fanerogâmicas, subdivisão das Angiospérmicas, classe das Monocotiledóneas, ordem das Gramínideas, família das Gramíneas, tribo Maydeae, género *Zea* L. e espécie *Zea mays* L.

Existe uma rica bibliografia de referência sobre a cultura do milho, como afirma Paes (2011) e como se confirma na dissertação de Risques (2015).

Segundo Paes (2011), o centro de origem mais provável para o milho, terá sido o México Meridional (América Central) e introduzido posteriormente na Europa pelos descobridores da América.

A semente é uma cariopse, que se constitui pelo pericarpo, o endosperma e o embrião. A germinação da semente dá-se aos 5 a 6 dias após a sementeira, em condições de temperatura (ótima de 15°C) e de humidade favoráveis (fase preponderante para a determinação das densidades de sementeira e emergência).

O milho tem um sistema radicular fasciculado, de grande porte e desenvolvimento, com raízes adventícias formadas (no estado fenológico 5 a 6 folhas) a partir dos primeiros nós do colmo que permitem o suporte da planta.

O caule é um colmo meduloso ereto e que em condições favoráveis de desenvolvimento pode chegar a ter 16 nós, variando devido às características do híbrido (variedade) e às condições edafo-climáticas. Tem as funções de suporte, de folhas e flores e de reserva (armazenamento de sacarose).

As folhas caracterizam-se por serem largas e compridas, paralelinérveas, de disposição alternada, sem lígula, glabras, de bainha longa, com os bordos ásperos, apresentando uma nervura funda ao meio da página superior e nervuras retilíneas-paralelas.

É uma planta monoica, possui uma inflorescência masculina terminal e uma ou mais inflorescências femininas.

A inflorescência feminina, regra geral uma por planta e raramente duas, desenvolve-se entre o 6º e o 8º nó, na axila da folha, sendo uma espiga de espiguetas unifloras (maçaroca). Pode ter de 16 a 20 carreiras e cada carreira cerca de 50 grãos. A espiga é envolvida por brácteas (camisas), donde saem longos estiletes (barbas) terminados por dois estigmas. Estas brácteas são solidárias ao pedúnculo e o eixo central das espigas é carnudo (carolo).

A inflorescência masculina é uma panícula (bandeira) e desenvolve-se na extremidade superior do caule, contendo duas espiguetas em cada dente (uma estéril e outra fértil).

A fecundação é maioritariamente cruzada (95 %), devido ao fenómeno de protândria, que consiste nas flores masculinas atingirem mais cedo, cerca de 3 dias, a maturação do que as flores femininas, sendo por este motivo difícil de manter linhas puras.

Tem elevada sensibilidade a elevadas temperaturas (35-38 °C), que pode levar à redução do número de grãos por espiga devido a polinização reduzida.

O fruto do milho é uma cariopse indeiscente, apocárpico, monospérmico, sendo que tem a semente ligada ao pericarpo e em agrupamentos de infrutescências.

O peso de mil grãos varia entre 250-300 g.

As temperaturas ótimas para o crescimento vegetativo do milho variam entre os 24-30°C, sendo as temperaturas acima de 40 °C prejudiciais à cultura.

O zero vegetativo da cultura é a temperatura de 10 °C.

O ciclo cultural do milho envolve primeiramente um período vegetativo e consequentemente um período reprodutivo, apresentando sequencialmente os seguintes estados: germinação, emergência, emissão de folhas, aparecimento da panícula, floração masculina, floração feminina, formação do grão, desenvolvimento do grão (leitoso – pastoso – farináceo – duro) e a maturação fisiológica.

Período Vegetativo (V):
VE - emergência
V1 – primeira folha expandida
V2 - primeira folha expandida
V3 - primeira folha expandida
V(n) – n-esima folha expandida
VT - Embandeiramento
Período Reprodutivo (R):
R1 – Aparecimento das sedas (silking)
R2 – Emborrachamento (blister)
R3 – Leitosa (milk)
R4 – Pastosa (dough)
R5 – Vítreo (dent)
R6 – Maturação fisiológica

Figura 1: Fases do período vegetativo e do período reprodutivo da cultura do milho.
Fonte: Brito Paes (2011).

A totalidade do ciclo da cultura pode variar entre os 70-155 dias.

A duração de cada fase é entre o número de dias: Sementeira a VE: 5-15 dias; VE a V8/V9: 25-45 dias; V8/V9 a VT: 10 a 30 dias; VT a R6: 30-65 dias. Os ciclos estão classificados quanto ao número de dias pela FAO, correspondendo ao seguinte:

FAO 100 – Ciclo ultra - precoce (até 85 dias)

FAO 200 – 86-95 dias

FAO 300 – 96-105 dias

FAO 400 – 106-115 dias

(...)

FAO 900 – ultra - tardio (mais de 150 dias de duração)

No estágio de desenvolvimento vegetativo (V3/V4), o crescimento parece estagnar e dá-se a formação das raízes. Até estes estádios o milho é muito sensível ao encharcamento e a geadas.

No período de 4 a 6 folhas diferenciam-se os órgãos florais e o meristema apical encontra-se à superfície do solo.

Após a diferenciação floral determinam-se os componentes da produção: o número de espigas, o número de linhas por espiga e o número de óvulos/grão por linha.

Quando o milho se encontra joalheiro (na 5ª ou 6ª folha) as exigências culturais em nutrientes e água aumentam.

No período compreendido entre as 6 e as 8 folhas até à floração, o ápice desenvolve a panícula, dando-se o início do período reprodutivo. De seguida, formam-se os gomos axilares, onde sob estes se formam as flores femininas e as sedas. Nesta fase, caso falte água, o número de flores feminino será reduzido e, consequentemente, o número de grãos por espiga.

Segue-se a floração masculina, com a libertação de pólen até à fecundação (queda de pólen nas sedas e germinação).

O pólen fica disponível no campo durante um período de 15 dias e a fecundação dá-se num período de 48-72 horas, após haver a polinização.

O desenvolvimento reprodutivo, dá-se nas 3 primeiras semanas, havendo o desenvolvimento rápido dos esboços das espigas e dos jovens grãos. Nas 4 a 5 semanas há a formação de 85% da matéria seca (MS) nos grãos passando pelas três fases: leitoso, pastoso e vítreo.

Posteriormente, há o enchimento do grão (componente de produção importante). A partir desta fase, dá-se a redução do teor de humidade no grão, que se inicia nos cerca de 85% e chegando ao ponto negro, por volta dos 35% de humidade. As regas nesta altura já cessaram e permite-se a secagem do milho, até valores na ordem dos 20-25% de humidade para a colheita do milho para grão.

Relativamente ao armazenamento do grão, o teor de humidade deve rondar os 15%, sendo que nesta altura já passou pelo secador.

Finalmente, o somatório de dias grau de crescimento da cultura do milho, obtido com uma temperatura base de 10°C, é variável em função da variedade (nº dias do ciclo), oscilando entre 1500 a 1900 ° dia.

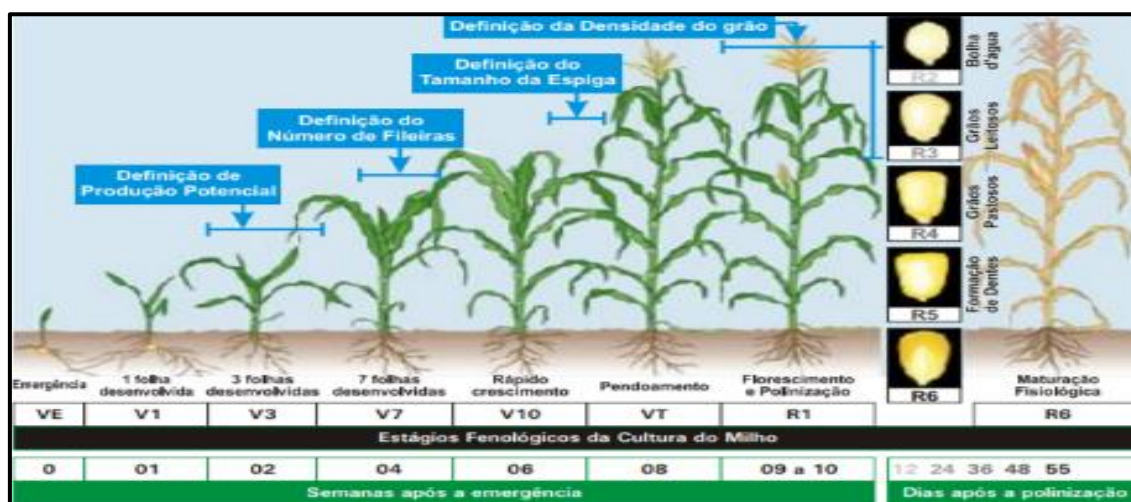


Figura 2: Fenologia da cultura do milho: estágio de desenvolvimento da cultura. Fonte: Adaptação de Fancelli (1986) e Iowa State University Extension (1993).

2.1.2. Fatores limitantes da cultura

Os principais fatores que limitam o equilibrado crescimento e desenvolvimento da cultura do milho são as condições edafo-climáticas do local, as exigências hídricas, as exigências minerais, o controle de infestantes e o controle de pragas e doenças. Existem fatores que são de maior controle por parte do agricultor, tais como a escolha da data de semeadura, a quantidade de sementes/hectare aplicadas, a escolha da data de debulha, a escolha da variedade e a qualidade da semente e dos adubos aplicados.

O milho é muito eficiente na utilização da água e na produção de matéria seca. As fases mais críticas do desenvolvimento de uma planta de milho são cronologicamente, a floração (+/- 20 dias), a frutificação e o enchimento do grão, onde a quantidade de água disponível bem como a qualidade de água que é fornecida, fazem alterar a ocorrência de stress nestas fases acima descritas (Doorenbos & Kassam, 1979).

Para obter 1 Kg de matéria seca é necessário cerca de 250 a 300 litros de água. Assim, face às condições do território português, é preciso cerca de 400 a 500 mm para satisfazer plenamente as necessidades hídricas (4000 a 5000 m³/ha). É uma cultura bastante suscetível à carência de água, sendo que um atraso de 1 a 2 dias no período de ponta da rega, pode levar a impactos significativos na produção final (Paes, 2011).

Os solos devem promover uma boa drenagem, pois a cultura é bastante sensível ao encharcamento. O pH do solo não deve ser abaixo dos 5, pois conduz a quebras na produtividade. Estes devem possuir uma boa retenção de água, pois neste clima mediterrâneo e durante a estação seca do ano, esta cultura é economicamente sustentável, apenas com recurso ao regadio (Paes, 2011).

As regas de um modo geral não devem ser iniciadas antes das fases V3-V4, para promover o desenvolvimento radicular em profundidade, com exceção para os anos quentes e secos, onde se deve fazer uma primeira rega para promover a germinação e a emergência. No término da campanha, as regas devem ser cessadas no estado de maturação fisiológica – R6 – fase que no campo se observa o aparecimento do ponto negro nos grãos de milho.

Em termos nutricionais, que variam com o potencial produtivo e com a fase do ciclo cultural, a cultura é bastante exigente em Azoto (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O) – macronutrientes principais e em Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (E) – macronutrientes secundários e em micronutrientes como o boro e o zinco.

Aceita-se a existência de uma relação simplificada da necessidade de nutrientes para produzir uma tonelada de grão: 21 unidade de N; 14 unidade de P e 17 unidades de K (Paes, 2011).

Em relação à fitossanidade, o principal problema prende-se com as infestantes (DGADR, 2010), sendo fundamental o seu combate de uma forma sistémica. Há também diversas doenças provocados por fungos que podem aparecer durante o ciclo, como recentemente tem tido maior ênfase a *Cephalosporium maydis* (podendo haver uma quebra de 70% da produção). As pragas são também influentes na produção de milho.

De modo a evitar o apodrecimento das sementes, após a germinação, as sementes são previamente tratadas com fungicidas (Paes, 2011).

O controlo contra os infestantes, deve ser feito o mais cedo possível, para evitar perdas significativas na produção, o aumento dos custos de produção e a diminuição da qualidade do grão (DGADR, 2010).

As considerações propostas pela DGADR (2010), apoiadas na Proteção Integrada de produção de milho, defendem a utilização de medidas indiretas (genéticas, legislativas e culturais de carácter preventivo) e de meios diretos (biológicos, biotécnicos e químicos) para a redução/controlo da população de inimigos chave da cultura e que menos afetem o ambiente.

Os meios diretos mais utilizados na região do Ribatejo são: a sachá e a monda química.

A sachá efetua-se no estado fenológico V2-V3 e no estado V5-V6, quando o milho se encontra joalheiro. A monda química realiza-se através de tratamentos de pré-emergência e/ou pós-emergência do milho. Neste método de combater as infestantes recorre-se à atrazina para as plantas dicotiledóneas e a simazina e alacloro para as monocotiledóneas (Paes, 2011).

Ainda assim, deve ser do conhecimento do agricultor/técnico de campo o ciclo biológico dos inimigos chave da cultura, através de observação visual da parcela e a análise da estimativa do risco e dos níveis económicos de ataque, de forma a avaliar o risco da parcela em Proteção Integrada.

A variedade de semente escolhida dentro da gama de ciclos (mais curtos ou mais longos) define também o potencial produtivo da cultura. Ciclos mais longos devem ser semeados precocemente e com menos densidade de plantas, enquanto que ciclos mais curtos devem ser semeados mais tarde (e com maiores densidades de plantação) de modo a que o fim do ciclo esteja terminado antes do início das chuvas outonais.

A densidade de sementeira é um fator relevante, pois esta é uma cultura com incapacidade de afillamento (ao contrário por exemplo com a cultura do trigo) e as falhas de plantas na linha levam a perdas de produção.

2.2. Dados económicos e estatísticos sobre a produção de milho

2.2.1. Produção e evolução do preço à escala mundial

O maior produtor de milho no mundo são os EUA com 384.777.890 toneladas, seguindo-se a China com 231.673.946 toneladas e o Brasil com 64.143.414 toneladas (FAO,2016).

A campanha dos cereais de 2017/2018 quantificou-se como a 2ª maior a nível mundial com cerca de 2 mil milhões de toneladas produzidas (GPP, 2018).

Antevê-se que haja um consumo global de cereais de mais 13%, até ao ano de 2026, segundo a OCDE.

Particularmente no milho, estima-se um crescimento de 14%, fomentado pela pecuária intensiva nos países em desenvolvimento. Para a alimentação humana o consumo de milho poderá ter um crescimento anual de 1,8%, principalmente nos países em desenvolvimento, com destaque em África (GPP,2018).

Em relação à evolução do preço do milho, verificou-se que nos últimos 20 anos houve grandes oscilações, sendo o último pico registado no ano de 2012. Nos últimos 5 anos o preço do milho estabilizou-se em valores relativamente baixos.

A produção nacional não tem efeito na constituição do preço de mercado, devido à forte dependência das importações.

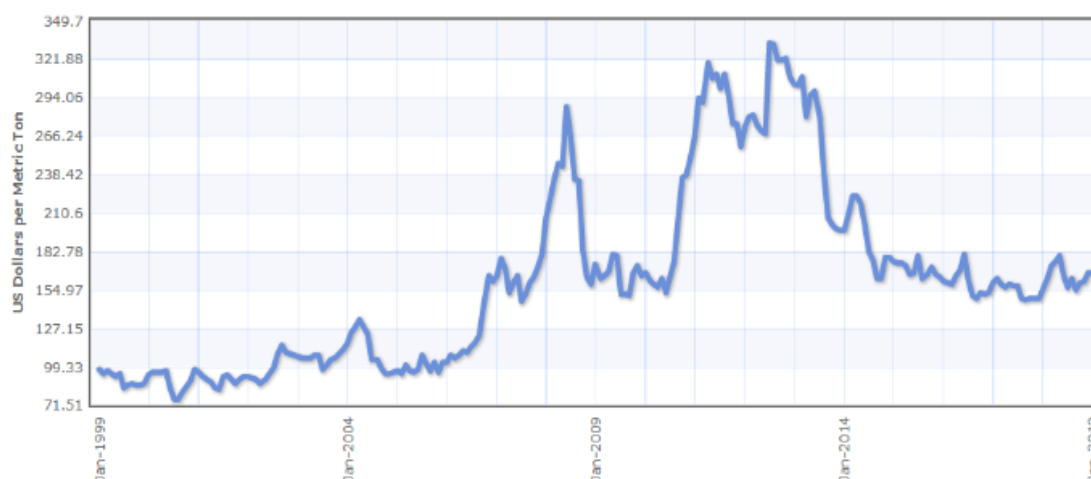


Figura 3: Evolução do preço do milho no mundo, 1999-2019. (\$/tonelada). Fonte: USDA (2019).

2.2.2. Dispersão e evolução da produtividade em Portugal

A dispersão da cultura do milho grão em Portugal é apresentada na figura seguinte. Daí, podemos concluir que as principais zonas produtoras são o litoral norte e centro do país, o Ribatejo e os regadios do Alentejo.

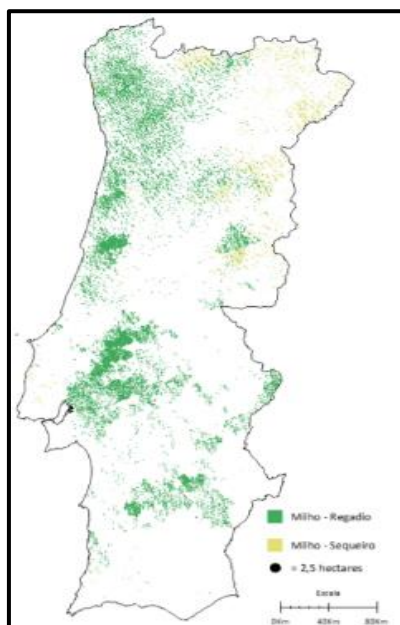


Figura 4: Dispersão do milho grão em Portugal (2016). Fonte: GPP a partir de PU 2016.

A produtividade do milho de regadio evoluiu significativamente ao longo do período 1986-2016, tendo passado de valores da ordem dos 3.000 kg/ha para os 8.000 kg/ha.

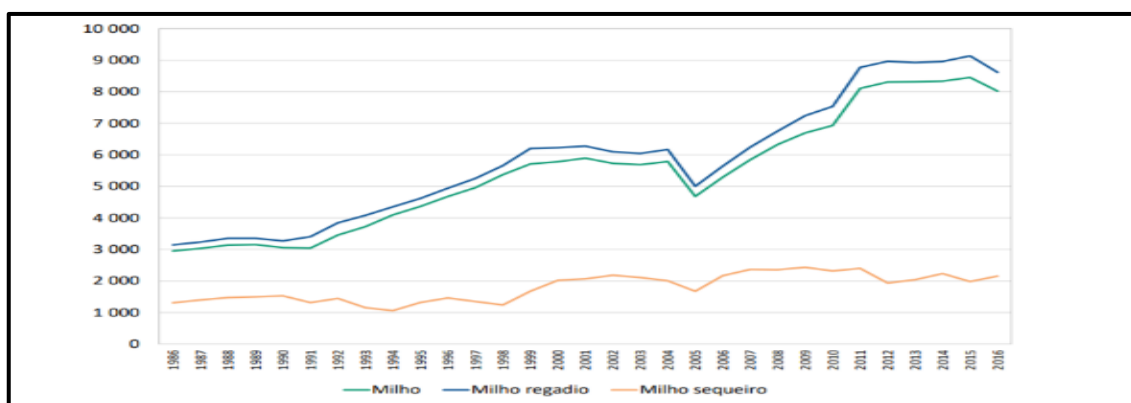


Figura 5: Evolução da produtividade do milho (kg/ha) no período 1986-2016. Fonte: INE (2017).

2.2.3. Produção e evolução do preço do em Portugal

Verifica-se uma tendência de diminuição da área semeada, desde o ano de 2014, resultado do baixo valor praticado no preço do milho regulado pelos mercados mundiais e a fraca disponibilidade hídrica para a cultura do milho.

Este cenário conduziu à reestruturação do planeamento de abastecimento das culturas, sendo esta cultura uma das mais dispendiosas deste recurso, (INE, 2017).

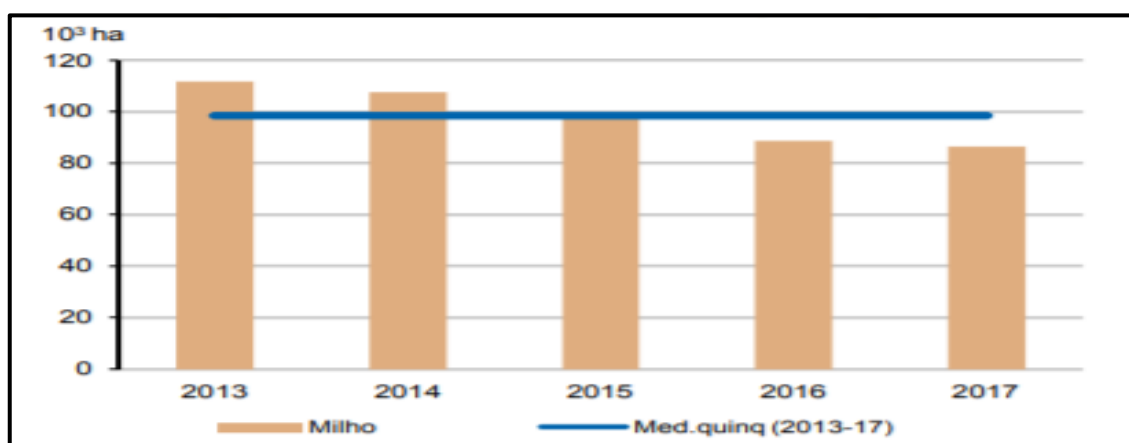


Figura 6: Evolução da área de produção de milho grão no período 2013-2017. Fonte: INE (2017).

Em relação à produção de milho produzido com sistema de regadio, também se verifica uma diminuição na produção até ao ano de 2016, sendo que no ano de 2017 a produção aumentou. Justifica-se principalmente devido aos dias quentes e secos estimularem o desenvolvimento desta cultura, que no caso de haver disponibilidade hídrica, consegue atingir melhores produções. (INE, 2017).

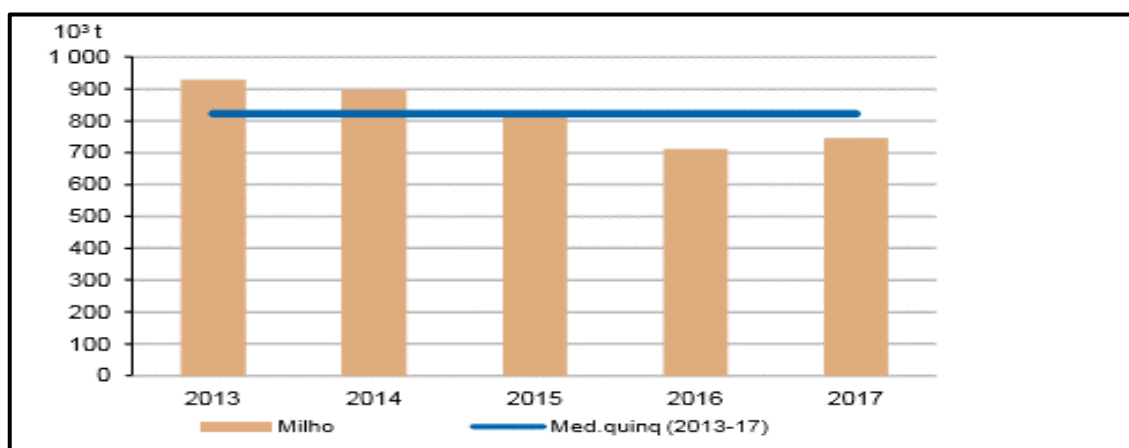


Figura 7: Evolução da produção de milho grão no período 2013-2017. Fonte: INE (2017).

No contexto geral da produção de cereais em Portugal e segundo o IFAP (2018) verificou-se que a produção de milho, para silagem e para grão, ocupou uma área bastante superior aos outros cereais, com exceção do arroz.

O aumento da área semeada com milho de regadio foi de aproximadamente 5%, sendo o principal foco de incremento na região do Ribatejo (15%), (Caldeira,2018).

A figura seguinte ilustra com clareza a importância desta cultura arvense no panorama nacional da campanha do ano de 2018.

REGIÃO AGRÁRIA		Produtores Insritos (n.º)	Área Declarada (ha)												Total
			Arroz	Aveia	Centeio	Cevada	Milho Grão	Milho Silagem	Sorgo	Trigo Mole	Trigo Duro	Trigo Spelta	Triticale	Outros	
Norte	Regadio	25 771	0	424	173	1	8 505	20 459	110	19	7	0	7	209	29 914
	Sequeiro		0	10 002	6 955	138	4 118	1 900	941	1 711	336	0	352	54	26 505
	Sub-total		0	10 425	7 128	139	12 623	22 359	1 051	1 729	343	1	359	263	56 419
Centro	Regadio	11 793	5 775	190	78	5	10 888	5 526	1 019	51	27	0	35	36	23 631
	Sequeiro		0	7 763	4 490	58	3 703	534	880	466	145	0	621	155	18 814
	Sub-total		5 775	7 953	4 568	62	14 591	6 060	1 899	517	172	0	656	191	42 445
Lisboa e Vale do Tejo	Regadio	2 072	14 206	100	15	466	19 523	2 482	872	623	16	0	91	0	38 394
	Sequeiro		0	3 009	23	1 411	326	55	121	2 109	163	0	276	60	7 553
	Sub-total		14 206	3 109	38	1 877	19 849	2 538	993	2 732	179	0	367	60	45 947
Alentejo	Regadio	4 174	8 075	881	0	2 995	10 317	3 644	2 713	2 814	1 095	0	1 161	0	33 694
	Sequeiro		0	34 838	106	14 713	413	114	1 098	11 661	2 827	0	13 496	45	79 312
	Sub-total		8 075	35 719	106	17 709	10 730	3 758	3 811	14 475	3 921	0	14 657	45	113 006
Algarve	Regadio	437	202	1	0	1	25	2	0	41	2	0	0	3	278
	Sequeiro		0	709	1	267	15	1	1	203	137	0	87	133	1 553
	Sub-total		202	710	1	268	40	3	2	243	139	0	87	135	1 831
Total	Regadio	44 247	28 258	1 596	266	3 468	49 258	32 113	4 714	3 548	1 147	0	1 294	248	125 911
	Sequeiro		0	56 321	11 574	16 588	8 574	2 605	3 041	16 149	3 607	0	14 832	446	133 737
	Total		28 258	57 917	11 840	20 056	57 832	34 718	7 754	19 697	4 754	1	16 126	694	259 648

Figura 8: Dados declarativos da área de produção de cereais, em hectares, referentes ao ano de 2018. Fonte: IFAP (2018).

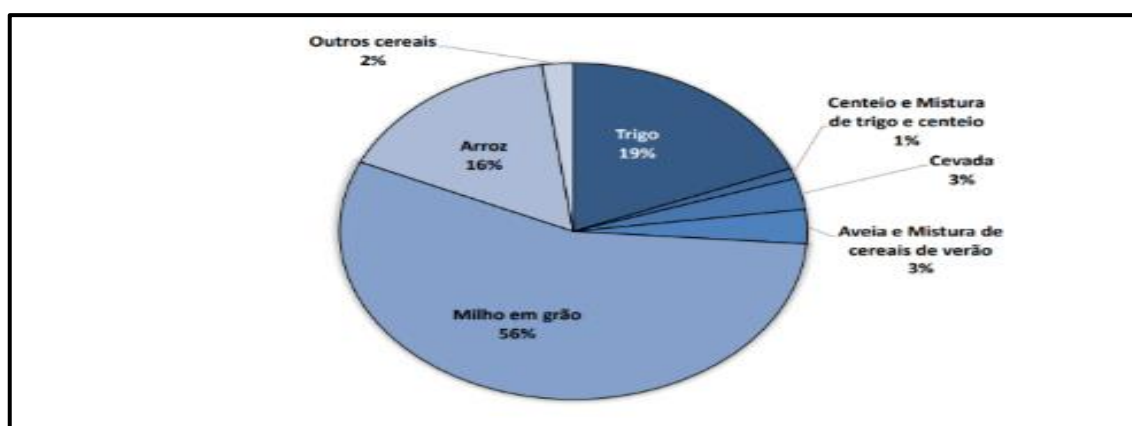


Figura 9: Importância relativa dos cereais no triénio 2015-2017 (%). Fonte: GPP (2017).

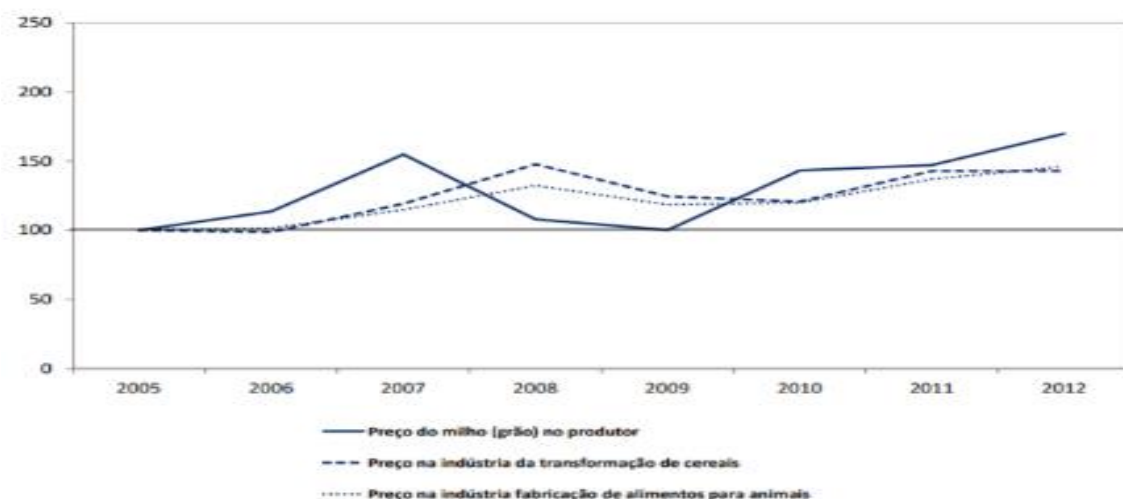


Figura 10: Evolução do preço do milho-grão (euros/tonelada) no produtor (linha azul contínua). Fonte: GPP, a partir do INE (2018).

2.2.4. Economia agrícola portuguesa na última década e desafios futuros

A agricultura portuguesa tem demonstrado melhorias em diversos ramos, como a organização da produção, no alargamento da qualificação técnico-profissional do respetivo tecido empresarial, na aposta de novas culturas e novas tecnologias, na eficiência da utilização dos recursos disponíveis e na conquista de novos mercados nacionais e internacionais (Avillez, 2017).

Contudo, segundo Avillez (2017), estas melhorias verificadas têm um reflexo marginal no crescimento económico do setor, devido ao contraste entre a evolução positiva da produtividade e negativa nos rendimentos agrícolas e no valor acrescentado agrícola.

A ponte de ligação dos resultados obtidos no passado e as perspetivas de crescimento da economia do setor agrícola num futuro próximo e englobado no âmbito da PAC pós-2020, passam pelas decisões político-institucionais e empresariais, de modo a resolver os contrastes observados. Apostas como a difusão tecnológica, melhor eficiência no uso dos fatores de produção e uma gestão sustentável do uso do solo e da água são o tipo de medidas de política a priorizar (Avillez, 2017).

2.2.5 Análise económica do ano 2017

As contas do ano de 2017 indicam que houve um aumento do rendimento da atividade agrícola, em cerca de 1% na Unidade de Trabalho Ano (UTA) e com especial ênfase para o aumento do Valor Anual Bruto (VAB) em 6,5 % e 5,5 %, em valor e em volume, respetivamente (INE, 2017).

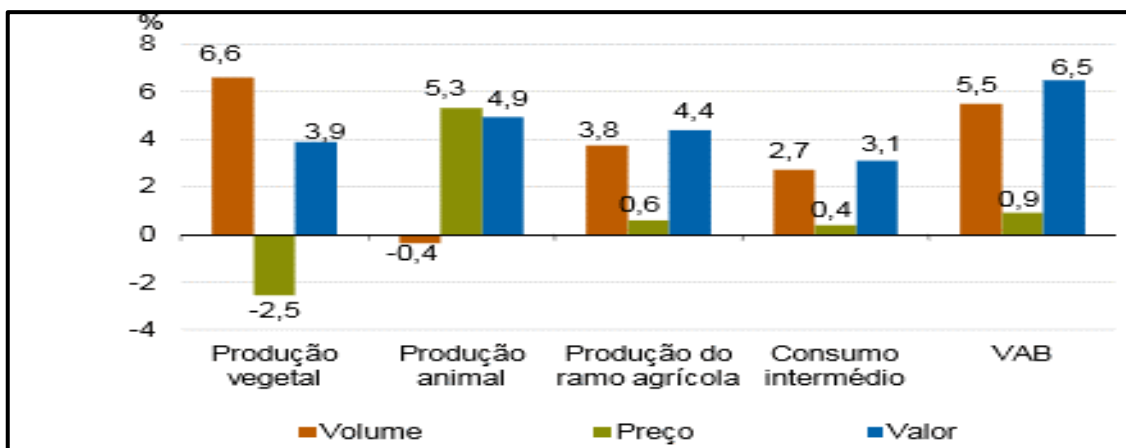


Figura 11: Taxas de variação (%) das produções, consumos intermédios e VAB no ano de 2017. Fonte: INE (2018).

A produção do ramo agrícola caracterizou-se pela estabilização dos preços base (+0,6%) e pelo aumento do volume (+3,8%).

No que a esta análise diz respeito, salienta-se a diminuição do total de Subsídios pagos à atividade agrícola (-18,8%) que se refletiu numa diminuição dos subsídios aos produtores em (-7,7%) e em outros subsídios à produção (-20,9%), em relação ao ano antecedente (INE, 2017).

2.3. A rega no milho

2.3.1. Importância da água e da rega na produção de milho

Segundo a DGADR (2018), Portugal tem uma precipitação média anual perto dos 700 mm, sendo a sua distribuição ao longo do ano feita de forma descontínua, potenciando problemas de escassez de água entre os meses de abril a setembro.

É fundamental analisar as necessidades hídricas da cultura do milho, para enfrentar de forma pragmática os períodos de secas e escassez de água. Através do estudo de estratégias de rega, com o objetivo da redução das quantidades de água e o respetivo impacto na produção, Rodrigues *et al.* (2011) demonstraram que a rega deficitária poderá ser viável nesta cultura.

Segundo Rodrigues *et al.* (2010), a gestão dos recursos num panorama de condições de seca equilibra-se na disponibilidade de água e na eficiência da sua utilização, ou seja, na produtividade da água.

Oliveira (2011) afirmou que se deve solucionar medidas de forma a aumentar a produção por unidade de área, utilizando variedades culturas mais produtivas ou através do aumento do rendimento por unidade de volume de água utilizado, bem como através do aumento de eficiência de utilização de água ao nível do perímetro, para otimizar o uso da água.

O conhecimento do rendimento da água utilizada na rega é uma tarefa difícil de se compreender, pois, necessita de conhecimento do resultado da produção ao consumo de água. Por outras palavras, a relação existente entre a produção e o custo de água fornecido (Oliveira, 2011).

A rega deve ser feita com o objetivo de maximizar o lucro da parcela, tendo em conta a produção marginal e o custo marginal da água. No entanto, se o objetivo for o de maximizar a produção deve-se regar de forma a suprir as necessidades integrais de água das plantas (Pereira *et al.*, 2002).

Para atingir o sucesso na produção de uma cultura regada, tem que haver previamente uma escolha ponderada e estudada acerca do método e do sistema de rega a utilizar. Esta escolha assenta em critérios como o tipo de solo, o clima, a topografia, a cultura de interesse, a disponibilidade de água e de energia (Barros & Calado, 2014).

2.3.2. Métodos e sistemas de rega

Para elaborar um eficiente sistema de rega é fundamental fazer um planeamento, uma seleção e dimensionamento do sistema, tendo como base dados recolhidos e metodologias adequadas (Oliveira, 2011).

Segundo (Oliveira, 2011), deve se ter em conta vários fatores como o solo, a energia, a cultura de interesse e as suas necessidades hídricas, o custo do sistema de rega e a mais importante de todas, o abastecimento (qualitativo e quantitativo) da água. Sendo não menos importante, as condições económicas, as condições de valorização do produto no mercado, as preferências do agricultor, o grau de educação e a sua experiência.

Num estudo sobre desempenhos de sistemas de rega, (Pereira, 2001) afirmou que os sistemas de rega têm vindo a receber uma análise cada vez mais cuidada do seu desempenho, levando à necessidade de atribuir uma relação entre desempenhos técnicos dos sistemas de rega e os resultados económicos que estes produzem.

Segundo a classificação dos métodos de rega e os seus respetivos sistemas de rega (Pereira & Trout, 1999), este estudo foca-se no método de rega por aspersão (através dos sistemas móvel de canhão puxado por enrolador e de rampa móvel pivotante).

A rega de aspersão é o método conhecido por fornecer águas às plantas sob a forma de chuva. A água é distribuída através de uma tubagem, sob pressão e finalizando o processo pela passagem nos aspersores que a aplicam em pequenas gotículas (Oliveira, 2011).

2.3.2.1 Sistema de rega por rampa rotativa (pivot)

O pivot permite uma rega circular em torno do ponto central fixo. Basicamente este sistema é composto por um ramal porta-aspersores animado de movimento em torno de uma das extremidades sempre fixa (centro fixo do pivot constituído também pela caixa de controlo e manómetro), (Oliveira, 2011).

A velocidade a que o sistema rega a cultura está dependente da dotação de rega aplicada.

Este sistema tem as vantagens de se adaptar em condições normais de funcionamento, a topografias com declives no máximo de 15%, conseguir regar cerca de 80 a 90% de uma secção quadrangular, possibilitar a rega num vasto leque de culturas e de solos (nomeadamente solos arenosos) e também a automatização da rega através do painel de controlo (no centro do pivot ou no computador do utilizador), (Oliveira, 2011).

Por outro lado, o sistema devido à sua configuração circular, não consegue cobrir toda a área útil em zonas contíguas e o custo e complexidade das operações de deslocação do pivot para outra parcela (Oliveira, 2011).

O pivot é dimensionado tendo em conta as necessidades em água da cultura de interesse, da taxa de infiltração de água no solo e das características da própria máquina.

No que diz respeito ao caudal de dimensionamento este deve ser calculado em função da eficiência da rega e do tempo necessário para a efetuar, a área a regar e as necessidades hídricas da cultura no período de ponta (Oliveira, 2011).

2.3.2.2 Sistema de rega por canhão móvel

Este sistema de rega tem que ser montado cada vez que se pretende efetuar uma rega, sendo colocado o tambor junto do ponto de água e o aspersor puxado por intermédio de um trator, desenrolando-o até à extremidade da faixa, ficando a ocupar a zona central da faixa que se pretende regar (Oliveira, 2011).

O canhão móvel está apoiado numa estrutura com duas rodas e um suporte que liga à mangueira flexível que canaliza a água (comprimento 200-400m), deslocando-se longitudinalmente na parcela que rega, até enrolar no tambor. O movimento da estrutura é originado devido à pressão da água (Barros & Calado, 2014) e (Oliveira, 2011).

No fim do percurso da faixa de rega, momento em que o aspersor atinge o tambor, o sistema automaticamente cessa a rega. É possível fazer a rotação 180° do tambor e permitir que se regue outra faixa de rega (repetindo os processos de desenrolamento do aspersor). Para efetuar a rega noutra posição, é necessário deslocar o conjunto completo (tambor e aspersor) para a nova posição e repetir todas as operações (Oliveira, 2011).

O funcionamento do aspersor-canhão faz-se por meio de uma alavanca, que recebendo o jato de água a desloca para baixo e lateralmente, e devido à configuração do prato em que este está assente, faz o arraste do aspersor na mesma direção. De seguida, por ação de uma mola, a alavanca volta à posição inicial, relativamente a saída do jato.

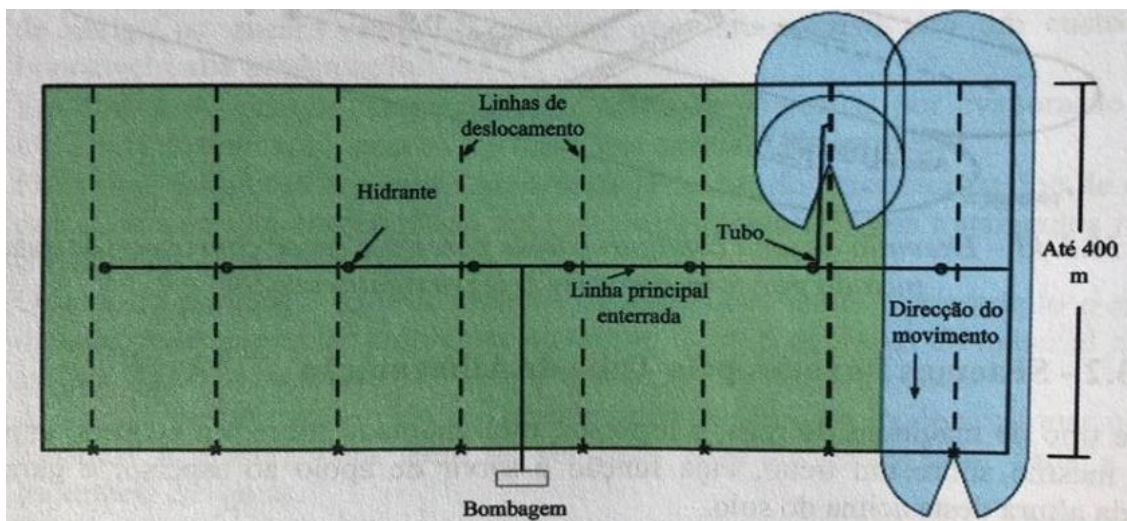


Figura 12: Modelo de uma configuração de uma parcela a regar, com recurso a um aspersor-canhão. Fonte: Oliveira (2011).

Como a projeção de água é contínua, haverá novo impulso na alavanca que desencadeará novamente este movimento e obrigando o aspersor a rodar.

A velocidade de rotação do aspersor varia entre 2 a 5 minutos, consoante a configuração do prato colocado no terminal da alavanca.

A rega é feita de modo circular, perfazendo um ângulo até 270° (para garantir a uniformidade de rega), de modo a facilitar a deslocação do suporte, evitando problemas de excesso de água na faixa (Oliveira, 2011).

Este sistema de rega tem como desvantagens consumir bastante energia. A uniformidade de rega está dependente do vento devido ao grande alcance do canhão. A projeção de gotas de grandes dimensões de água provoca a destruição de folhas e flores (queda de pólen), (Barros & Calado 2014).

3 Materiais e métodos

3.1. Localização das parcelas em estudo

Este estudo foi realizado numa exploração agrícola, denominada “Quinta da Adema”, localizada no distrito de Santarém, concelho de Benavente e a cerca de 3 Kms da localidade de Porto Alto.

A exploração tem aproximadamente cento e setenta hectares, sendo que noventa hectares são utilizados pela cultura do milho e cerca de quarenta e cinco hectares destinados para a produção de cereais de Outono/Inverno.

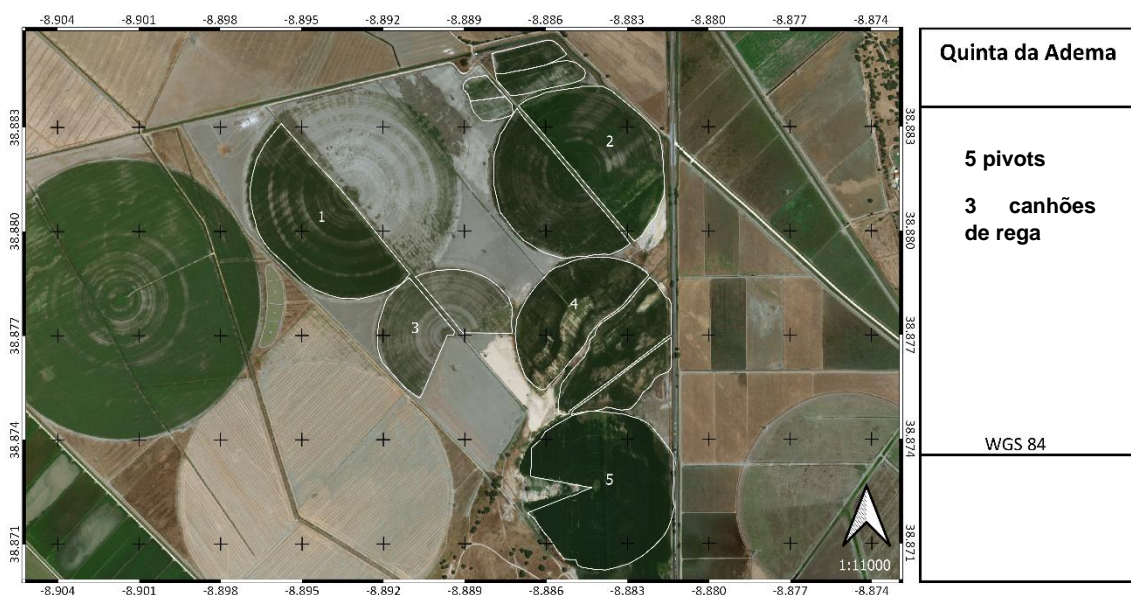


Figura 13: Identificação das parcelas do estudo na Quinta da Adema. Fonte: Google.

No seio deste trabalho será feita a caracterização e análise dos resultados obtidos em diferentes parcelas regadas por pivot e por canhão.

3.2 Caracterização edáfica

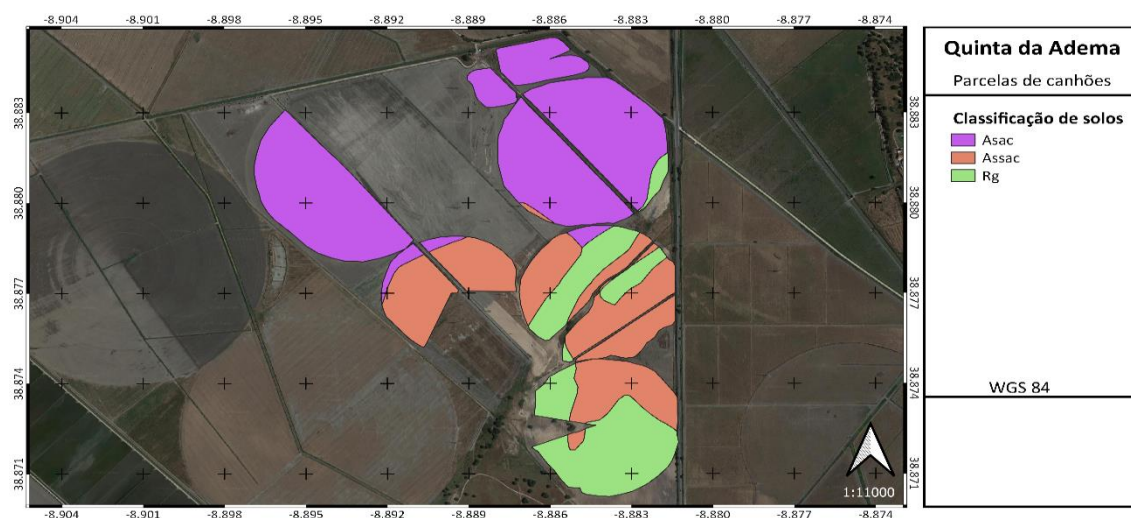


Figura 14: Caracterização e distribuição dos solos pelas diversas parcelas.

A carta de classificação de solos foi tratada e analisada no software QGIS e aplicados os limites das manchas de solos segundo a classificação das unidades taxonómicas do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA).

A Classificação dos Solos de Portugal, elaborada por Cardoso (1965;1974), indica que os solos da exploração se distribuem por três categorias taxonómicas: Asac; Assac e Rg. De acordo com a WRB (IUSS Working Group, 2015), as duas primeiras categorias correspondem a Solonchak Flúvico (Argilo, Calcárico) e a terceira corresponde a um Arenossolo Êutrico (Ócrico).

Segundo a Classificação de Solos de Portugal, temos:

❖ **Solo Asac**

Pertence à Ordem dos Solos Halomórficos, Subordem dos Solos Salinos, Família dos Solos Salinos de Salinidade Moderada de Aluviões: é um solo de textura pesada e com carbonatos.

❖ **Solo Assac**

Pertence à Ordem dos Solos Halomórficos, Subordem dos Solos Salinos, Família dos Solos Salinos de Salinidade Elevada de Aluviões: é um solo de textura pesada e com carbonatos.

❖ **Solo Rg**

Pertence à Ordem dos Solos Incipientes, Subordem dos Solos Regossolos, Família dos Regossolos Psamíticos não húmidos: são solos constituídos por materiais detríticos arenosos, soltos, mais ou menos ácidos e quando muito, constituem um delgado horizonte superficial com pequena acumulação de matéria orgânica. Incluem também as areias de dunas, geralmente com fraca vegetação xerófita.

3.3. Balanço hídrico

3.3.1. Dados meteorológicos

Os dados climáticos que iremos utilizar são a temperatura do ar (máxima, mínima e média), a humidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar (insolação) e a precipitação.

É importante salientar que os dados climáticos da região devem ser provenientes de uma fonte fidedigna pois a sua fraca qualidade pode levar a uma sobre ou subestimação da ET_0 (Oliveira, 2011). Assim sendo os dados meteorológicos usados neste trabalho foram recolhidos na estação meteorológica de Salvaterra de Magos, por ser a que se encontra mais próxima do local do estudo e ter dados de qualidade.

3.3.2. Cálculo da evapotranspiração

Como citado por Carvalho *et al.* (2011), o termo “evapotranspiração” foi introduzido por Thornthwaite & Wilm (1944) tendo surgido duas contribuições científicas relevantes quatro anos depois, uma de Thornthwaite (1948) e a outra de Penman (1948), com interpretações análogas do ponto de vista da utilização científica, mas consideradas bastante importantes para a agricultura, climatologia e hidrologia.

Na década de 60, com base no método utilizado por Penman, foi desenvolvido um novo método por Monteith, no qual estimava diretamente a ET_c , denominando-o por Penman-Monteith. Mais tarde em 1977, Doorenbos & Pruitt, introduziram o conceito de evapotranspiração de referência (ET_0).

Finalmente o modelo que se utilizou neste estudo foi estabelecido em Roma (Itália), devido a um encontro promovido pela Food and Agriculture Organization (FAO) onde se juntou um conjunto de especialistas que discutiram o cálculo da estimativa da ET , concluindo que o método recomendado seria o de Penman-Monteith, utilizando a ET_0 , (Carvalho *et al.*, 2011).

A evapotranspiração de referência (ET_0) é a evapotranspiração de uma cultura fictícia, semelhante a um relvado, mantido constantemente à altura de 12 cm e bem abastecido de água, Allen *et al.* (1998).

O método denominou-se de Penman-Monteith FAO (PM-FAO).

❖ Método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO)

Este método não utiliza parâmetros fisiológicos nem aerodinâmicos, sendo a ET_0 unicamente dependente de dados climáticos, o que conjugado com o coeficiente cultural (3.3.3.), permite calcular facilmente a evapotranspiração cultural de qualquer cultura.

A equação de PM-FAO:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Sendo:

ET_0 – evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}],

R_n – radiação líquida à superfície da cultura [$\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$],

G – densidade do fluxo de calor do solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$],

T – temperatura média do ar a 2m de altura [$^{\circ}\text{C}$],

U_2 – velocidade do vento a 2m de altura [m s^{-1}],

e_d – tensão de vapor de saturação [KPa],

e_a – tensão de vapor real [KPa],

$e_a - e_d$ – déficit de saturação [KPa],

Δ – declive da curva de pressão de vapor [$\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],

γ – constante psicrométrica [$\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],

É fundamental uma correta medição dos mesmos, recorrendo a procedimentos como o registo dos dados climáticos a 2m de altura acima da superfície, a mesma deve cobrir mais que a área ocupada pela estação meteorológica operada e sem sintomas de stress hídrico.

Para o cálculo da ET_c e da ET_0 , este processo é agilizado pelo recurso ao modelo informático ISAREG.

3.3.3. Coeficiente cultural (K_c)

O seu valor varia principalmente devido às características da cultura, mas também devido às condições ambientais. Representa a relação entre a Evapotranspiração de uma cultura (ET_c) e a Evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_0).

O que difere entre as várias culturas é principalmente a resistência que estas têm em relação à transpiração (Oliveira, 2011).

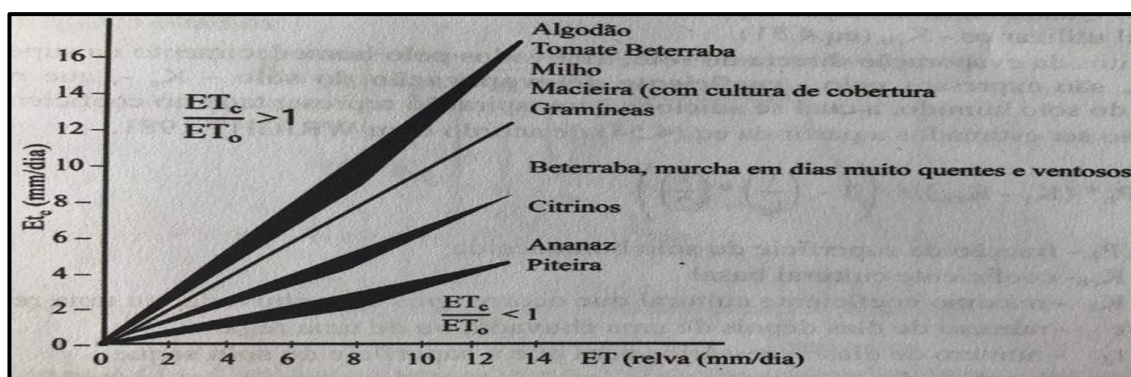


Figura 15: Efeito das diferentes culturas na relação ET_c/ET_0 . Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977) citado por Oliveira (2011).

3.3.3.1. Curva do coeficiente cultural

Descrito por Doorenbos & Pruitt (1977), o ciclo cultural divide-se nos quatro estádios seguintes:

- ❖ **Estádio inicial** – Germinação e crescimento primário, até que a cobertura do solo pela folhagem seja inferior a 10%.
- ❖ **Estádio de desenvolvimento** – Desde a finalização do estágio anterior até a cobertura efetiva do solo rondar os 70-80%.
- ❖ **Estádio intermédio** – Desde a finalização do estágio anterior até ao início da maturação, assinalado pela mudança de coloração das folhas.
- ❖ **Estádio final** – Desde a finalização do estágio anterior até ao fim da maturação, ou até à colheita.

Após estarem definidos os estádios de desenvolvimento, são escolhidos para os estádios inicial, intermédio e final, os valores de $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ mid}}$ e $K_{c\text{ end}}$ ajustados a cada estágio. Finalmente, constrói-se a curva de variação dos coeficientes culturais ao longo do ciclo, sabendo os valores de K_c e a duração de cada estágio do ciclo cultural, (Oliveira, 2011).

Na Figura 16 apresenta-se a curva dos coeficientes culturais para o ciclo da cultura.

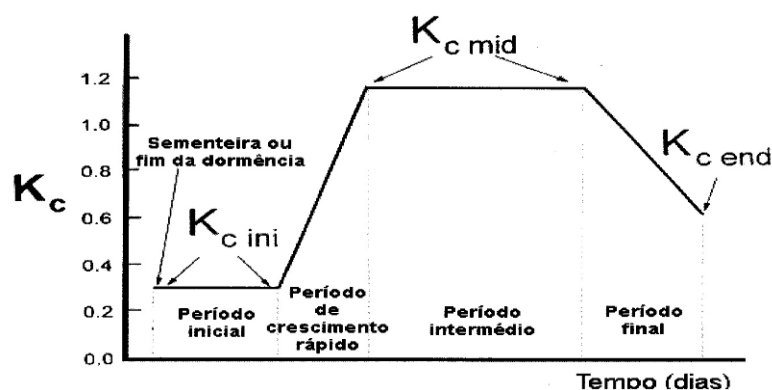


Figura 16: Curva dos coeficientes culturais ao longo do ciclo da cultura e definição dos períodos vegetativos correspondentes. Fonte: Allen *et al.*, (1998).

Doorenbos & Pruitt (1977), descreveram também a metodologia para a realização desta curva do K_c , que sumariamente se foca no conhecimento do ciclo cultural, desde a data de sementeira até à data de colheita, no caso de culturas anuais bem como, a compreensão das fases do ciclo da cultura e a variedade utilizada.

3.4 O ISAREG

O modelo/programa ISAREG foi elaborado pelo Instituto Superior de Agronomia (ISA) e baseia-se no método da FAO, para o cálculo das necessidades hídricas das culturas. Existe uma detalhada bibliografia (Teixeira & Pereira, 1992; Teixeira, 1994) sobre a metodologia e os procedimentos para utilização do programa.

Tem diversas finalidades de utilização em função do objetivo de estudo. Destacam-se assim: a programação de um calendário de rega; a determinação das necessidades globais de rega (NGR) ou seja, o cálculo das necessidades teóricas de rega, num cenário de uma cultura ser convenientemente fornecida em água, de modo independente de como se irá regar; e a definição de parâmetros de projeto: construção de séries estatísticas, com base no cálculo das necessidades de rega anuais e no caudal de ponta (Teixeira, 1992).

Finalmente, a funcionalidade que se utiliza neste trabalho é a avaliação de um calendário de rega. Esta análise nos pivots e nos canhões de rega é feita sobre a campanha do ano de 2018.

Sumariamente recorre-se à introdução de dados de precipitação efetiva, a evapotranspiração de referência, os dados do solo e as características da cultura ao longo do ciclo cultural de crescimento e desenvolvimento, ou seja, as necessidades hídricas teóricas de determinada parcela (Saraiva *et al.*, 2013; Valverde *et al.*, 2014).

Posteriormente, em comparação com as dotações de rega aplicadas (prática), analisa-se o Balanço Hídrico do Solo e faz-se a conclusão sobre se a rega foi feita de forma adequada – eficiência no uso da água.

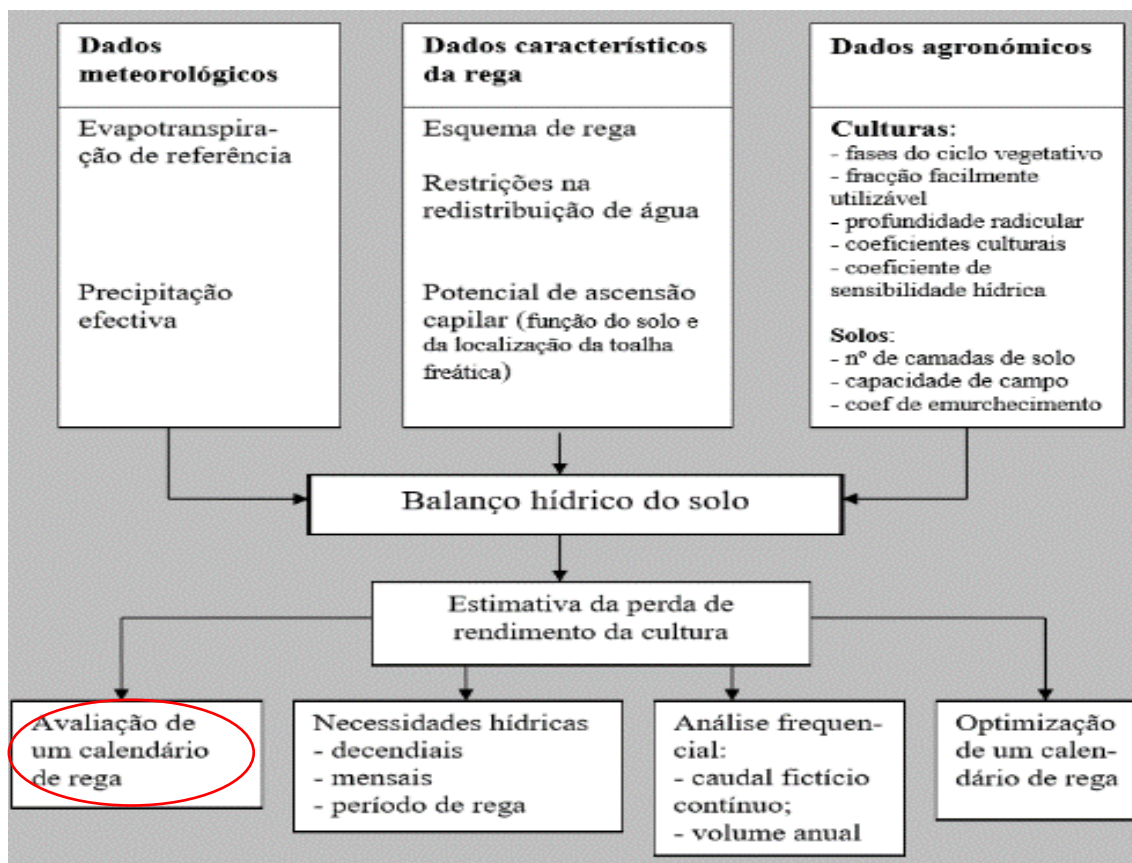


Figura 17: Esquema de utilização do modelo ISAREG. Fonte: Teixeira (2018).

3.4.1. Preparação dos dados

Neste capítulo apresenta-se de uma forma genérica todo o processo de enquadramento e formatação dos dados em bruto lidos pela estação meteorológica, até à saída dos ficheiros informativos detalhados sobre o desempenho de cada sistema de rega e em cada parcela.

❖ Dados meteorológicos

Iniciou-se a análise dos dados pelo reconhecimento das unidades de medida dos diversos parâmetros, o agrupamento dos dados de forma diária e a gravação do ficheiro de trabalho como: Dados_Estacao.

Os dados gerados pela estação foram recolhidos de forma horária, diária e mensal, encontrando-se no formato pretendido de acordo com o manual de utilizador, com exceção da temperatura e da humidade relativa. Foram fornecidos os dados médios horários e para que fosse possível adequar ao programa, teve que se descobrir os máximos e os mínimos para cada dia.

Seguidamente fez-se uma certificação dos dados para averiguar a sua veracidade e no caso de se encontrar algum erro de leitura, que eventualmente surja, deve-se proceder à sua alteração.

Neste passo, foram encontrados erros de leitura no parâmetro: temperatura, observando-se valores de 276°C. Contudo este erro foi observado poucas vezes (em 5 leituras horárias da temperatura num total de 365 dias) e sem uma razão específica que o justifique. Admitiu-se que fosse um *bug* proveniente dos dados da estação e sem expressão significativa, pois nunca se observou esta situação no período em que as temperaturas eram máximas ou mínimas. Portanto, procedeu-se à atribuição de um valor médio de temperatura nesse dia (para que não afetasse o valor de temperatura nem o máximo nem o mínimo).

No anexo 1-A, encontram-se os valores diários da radiação solar, velocidade do vento, pluviometria, temperatura máxima, temperatura mínima, humidade relativa máxima e humidade relativa mínima, recolhidos pela estação meteorológica de Salvaterra de Magos e, devidamente agrupados cronologicamente de acordo com o formato exigido pelo programa, para primeira leitura e análise.

O anexo 1-B, ilustra o ficheiro criado com as características da estação meteorológica nomeadamente a latitude, a altitude e a altura do anemómetro, bem como com a indicação da localização dos parâmetros (localização das colunas) dentro do ficheiro, para reconhecimento do programa.

Todos os ficheiros criados no formato Excel e que se pretendem que sejam lidos pelo programa, têm que ser obrigatoriamente guardados na pasta de trabalho do computador do utilizador destacada para programa como “Texto separado por tabulações”.

Iniciou-se pela primeira vez o programa ISAREG e seguiu-se o procedimento a seguir descrito.

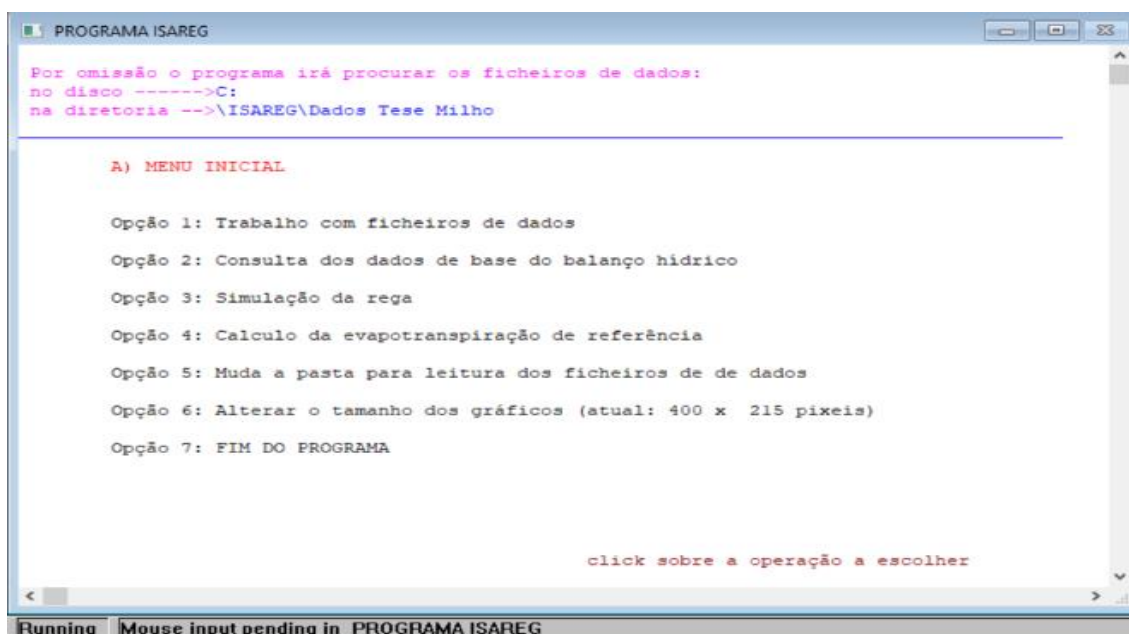


Figura 18: Criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE).

Após o painel de apresentação, escolheu-se a opção 4: cálculo da evapotranspiração de referência.

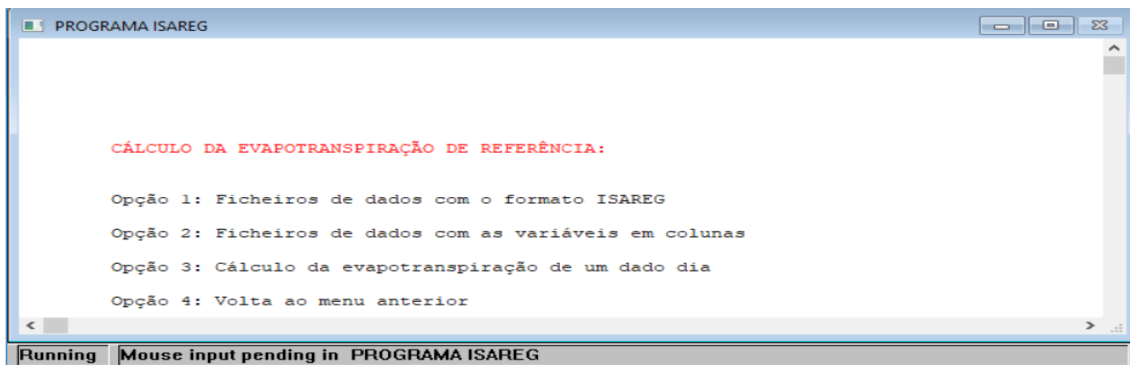


Figura 19: Criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE) (2).

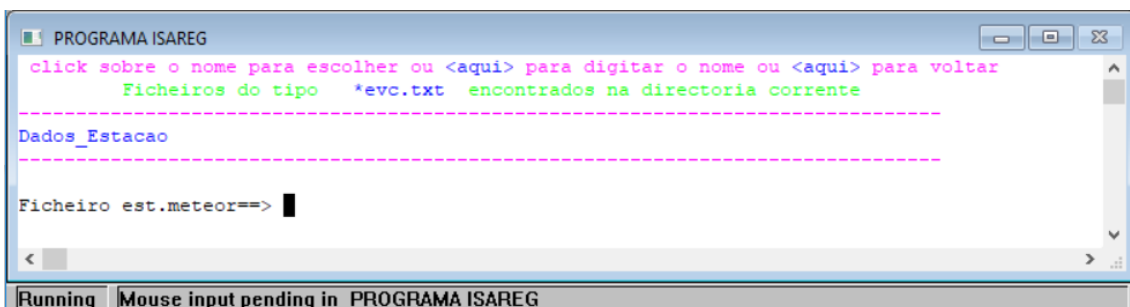


Figura 20: Conclusão da criação do ficheiro com a evapotranspiração de referência (ET_0) e com a precipitação (PRE).

Escolheu-se a opção 2: ficheiros de dados com as variáveis em colunas (figura de cima) e o ficheiro: Dados_Estacao (figura de baixo).

O programa criou automaticamente dois ficheiros no formato ISAREG, um com os valores da precipitação (Dados_Met_PRE) e o outro com os valores da evapotranspiração de referência (Dados_Met_ ET_0).

❖ Dados agronómicos

Os dados agronómicos abrangem a definição das características hidrológicas da cultura do milho (utilizando-se um ficheiro da cultura) e as características do solo (parâmetros pedológicos), (Teixeira, 2018).

No ficheiro da cultura, descreveu-se pormenorizadamente os parâmetros: data de sementeira; as fases do ciclo cultural da variedade de milho utilizada; a fração facilmente utilizável (%); a profundidade radicular (m); os valores de K_c ao longo do ciclo cultural e a sua duração (dias) e o coeficiente de sensibilidade hídrica.

É a partir da data sementeira que o programa assume todos os parâmetros e que contabiliza os dias de cada fase do ciclo das variedades em estudo. Consideraram-se cinco fases no ciclo vegetativo, como afirma Allen *et al.* (1998):

Fase A-B – desde a sementeira até ao início do crescimento vegetativo rápido;

Fase B-C – crescimento vegetativo rápido;

Fase C-D – floração

Fase D-E – formação do fruto/rendimento;

Fase E-F – maturação.

A duração de cada fase é diferenciada pela variedade utilizada, permitindo uma avaliação final do seu desempenho.

A reserva utilizável do solo (RU), representa a quantidade de água que deve ser utilizada pelas plantas. É calculada em função da capacidade de campo (CC) e do coeficiente de emurchecimento permanente (CE).

$$RU = (CC - CE) \times 1000$$

A fração facilmente utilizável (p), conhecida como a fração da reserva utilizável do solo (RU) que constitui a reserva facilmente utilizável do solo (RFU), expressa-se por:

$$RFU = RU \times p$$

De salientar que a reserva facilmente utilizável do solo (RFU) é a parte da reserva utilizável (RU), na qual as plantas não manifestam quebras de produção, relacionadas com carências hídricas (Teixeira, 2018).

Utilizou-se segundo Allen *et al.* (1998) o valor de 55% (tabela 22), com exceção para a última fase (90%), para evitar que fossem contabilizadas quebras de produção indevidas, uma vez que foram cessadas as regas assim que se atingiu o ponto negro da cultura. O programa tem em conta a produção em função da água disponível até ao final do ciclo cultural, que no caso do milho, a produção (nesta fase final) não aumenta em função da água disponível – portanto, decidiu-se baixar o valor da LRFU.

A profundidade radicular estabelecida foi de 0,15 m na 1ª fase, 0,30 m na 2ª fase e nas restantes a profundidade de 0,60 m, tendo em conta valores observados ao longo da campanha.

Os valores do coeficiente cultural tabelados são de $k_c=1,2$ para as fases de floração/formação do fruto e de $k_c=0,5$ para a fase de maturação (Nesta fase compreendem-se os valores de $k_c=0,6-0,35$), (Allen *et al.*, 1998).

Como afirma Teixeira (2018), este coeficiente deve ser explicativo dos fenómenos localizados ao nível do sistema água-solo-planta. Admite-se uma relação linear, entre a variável climática (ET_0) e a variável agrícola (ET_c):

$$Kc = \frac{ETc}{ET0}$$

Foram estimados os números de dias para os diferentes valores de k_c , de acordo com as fases do ciclo da cultura e o valor atribuído do k_c .

Por último, o coeficiente de sensibilidade hídrica (K_y) é o parâmetro introduzido através do modelo Stewart S-1, que relaciona o défice de evapotranspiração com o défice de produção correspondente.

Traduz-se pela expressão:

$$1 - \frac{Ya}{Ym} = Ky \times \left(1 - \frac{ETc}{ETm}\right)$$

onde Y_a e ET_c são a produção e a evapotranspiração cultural, respetivamente. As variáveis Y_m e ET_m são os valores máximos.

O valor de K_y utilizado foi de 1,2 [Doorenbos e Kassam (1986), Allen *et al.*, (1998)].

Este ficheiro cultural encontra-se no Anexo II.

O ficheiro pedológico contempla o número de camadas de solo, a capacidade de campo (%), o coeficiente de emurchecimento (%), entre outros parâmetros que não são utilizados neste trabalho, como a densidade aparente.

Considerou-se apenas uma camada de solo, tendo em conta as análises de solo obtidas durante a campanha em análise e a observação da abertura de perfis de solo.

Segundo Teixeira (2018), estimou-se a capacidade utilizável de um solo (U), através da subtração, ao volume de água armazenada pelo solo (quando o seu teor de humidade se encontra à capacidade de campo (CC), do volume armazenado que corresponde ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE). Neste enquadramento, admite-se sempre um metro de altura do solo.

A expressão que traduz o que acima se refere:

$$U = (CC - CE) \times 10^3$$

sendo que CC e CE são expressos em percentagem de água no volume de solo (percentagem volúmica).

Classe textural	Teor de água (cm³/cm³)		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,268	0,316	0,219
Argilo-Arenosa (AAr)	0,170	0,260	0,079
Argilo-Limosa (AL)	0,290	0,336	0,244
Arenosa (Ar)	0,021	0,073	0,001
Areno-Franca (ArF)	0,055	0,110	0,001
Franca (F)	0,128	0,169	0,086
Franco-Argilosa (FA)	0,219	0,267	0,172
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,187	0,231	0,142
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,218	0,284	0,152
Franco-Arenosa (FAr)	0,104	0,156	0,051
Franco-Limosa (FL)	0,142	0,205	0,078

Figura 21: Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondentes ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE), por classe textural.

Classe textural	Teor de água (cm³/cm³)		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,368	0,417	0,320
Argilo-Arenosa (AAr)	0,256	0,347	0,166
Argilo-Limosa (AL)	0,443	0,490	0,397
Arenosa (Ar)	0,127	0,179	0,075
Areno-Franca (ArF)	0,236	0,290	0,181
Franca (F)	0,269	0,310	0,227
Franco-Argilosa (FA)	0,314	0,362	0,266
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,279	0,323	0,234
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,392	0,458	0,326
Franco-Arenosa (FAr)	0,278	0,331	0,226
Franco-Limosa (FL)	0,313	0,376	0,250

Figura 22 : Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondentes à capacidade de campo (CC), por classe textural.

De acordo com Ramos *et al.* (2016), os valores médios tabelados acima para uma classe textural *Argilo-limosa* (AL), para a capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento são, respetivamente, 0,44 e 0,29.

Com recurso à expressão acima enunciada, tem-se:

$$U = (0,44 - 0,29) \times 10^3 = 150 \text{ mm/m}$$

O ficheiro dos solos encontra-se no Anexo III.

❖ Dados característicos da rega

Na figura seguinte encontra-se o esquema de regas com as diversas funcionalidades que podem ser obtidas pelo programa ISAREG.

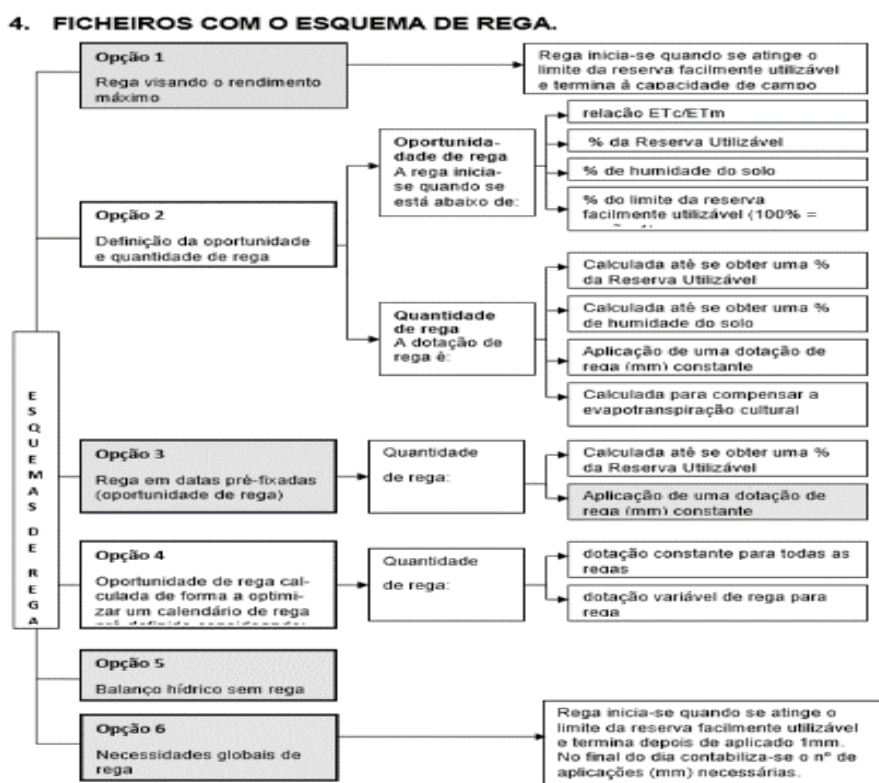


Figura 23: Esquema de regas do programa ISAREG. Fonte: Teixeira (2018).

Como se observa na figura acima, foi escolhida a opção 3: rega em datas pré-fixadas (oportunidade de rega), com a aplicação de uma dotação de rega em (mm) constante.

No anexo IV, encontram-se as bases de dados com as regas aplicadas tanto para os cinco pivots como para os três canhões de rega.

Neste trabalho não se considerou a ascensão capilar, pois a cultura esteve sempre em conforto hídrico, não se considerando o movimento vertical da água contrário ao sentido de gravidade.

No anexo V, encontra-se descrito pormenorizadamente o procedimento sobre o funcionamento do programa ISAREG, que foi utilizado para todos os pivots e todos os canhões de rega.

Neste anexo mostra-se a simulação-padrão efetuada para o pivot 1, desde a introdução de todos os ficheiros criados anteriormente até à saída dos ficheiros finais, analisados no capítulo “Resultados e análise”.

3.5. Agricultura de precisão: conceito e tecnologias aplicadas

A agricultura de precisão tem vindo a desenvolver-se e a revelar-se como uma ferramenta bastante útil e determinante na tomada de decisão dos agricultores.

A base do seu conceito assenta numa gestão económica e ambientalmente eficiente de uma determinada atividade agrícola (Whelan & Taylor, 2013), através da gestão espacial e temporal das parcelas, procurando o aumento de produtividade e qualidade das culturas, a redução dos custos de produção, a sustentabilidade e desenvolvimento rural e a diminuição do impacto e risco ambiental associado (Hall *et al.*, 2002 e Braga *et al.*, 2011). De acordo com Braga (2008), a homogeneização de qualquer parâmetro de qualidade de um produto, como exemplo um mapa de produtividade, não é o intuito da agricultura de precisão.

Existem diversas tecnologias de recolha de informação associadas a esta prática, como o GPS, o VRT, o SIG, e os monitores de produtividade (Swinton & Lowenberg-DeBoer, 2001).

A relação entre a produtividade e a qualidade, em agricultura de precisão, é complexa, sendo influenciada principalmente por fatores climáticos, as características das variedades da cultura e pelas práticas culturais adotadas pelo agricultor (Hall *et al.*, 2002).

Tendo em conta Swinton & Lowenberg-DeBoer (2001), a adoção de medidas e práticas com recurso a tecnologias de agricultura de precisão, não tem sido idêntica em todo o setor agrícola, nem em termos temporais nem em termos geográficos. As zonas de maior facilidade de adoção, são aquelas onde o custo de mão-de-obra é mais caro, grandes áreas de produção e também onde os preços dos juros bancários são mais elevados, levando a investimentos nesta área (Swinton & Lowenberg-DeBoer, 2001).

Para este estudo optou-se por fazer uma comparação entre cartas de NDVI, numa das fases críticas do desenvolvimento cultural (pré-floração) com as cartas de produtividade, analisando-se em termos visuais e estatísticos (estatística descritiva e análise de correlação), os resultados de ambas.

3.5.1 Detecção remota

As imagens das parcelas foram obtidas através de deteção remota. Segundo Mateluna (2009), a deteção remota permite auxiliar a avaliação da variabilidade espacial de superfícies produtivas, qualquer que seja a área de produção, através de modelos matemáticos que usam imagens aéreas. Esta ferramenta utiliza sensores remotos de radiação eletromagnética dispostos em satélites ou aviões, acima da superfície terrestre (sem contacto mecânico), com o objetivo de recolher informação sobre objetos e áreas, proveniente da luz do sol refletida [(Hall *et al.*, 2002) e (Sousa & Silva, 2011)].

Segundo Dias (2009), a radiação que melhor caracteriza o vigor das plantas é a do infravermelho próximo, uma vez que a reflectância das plantas nesta banda está diretamente relacionada com a água presente nas células foliares e com a sua estrutura. Desta forma, Ribeiro (2007) e Sousa & Silva (2011), afirmaram que para cada objeto está associada uma assinatura espectral, ou seja, existe um padrão de reflectância distinto para cada objeto.

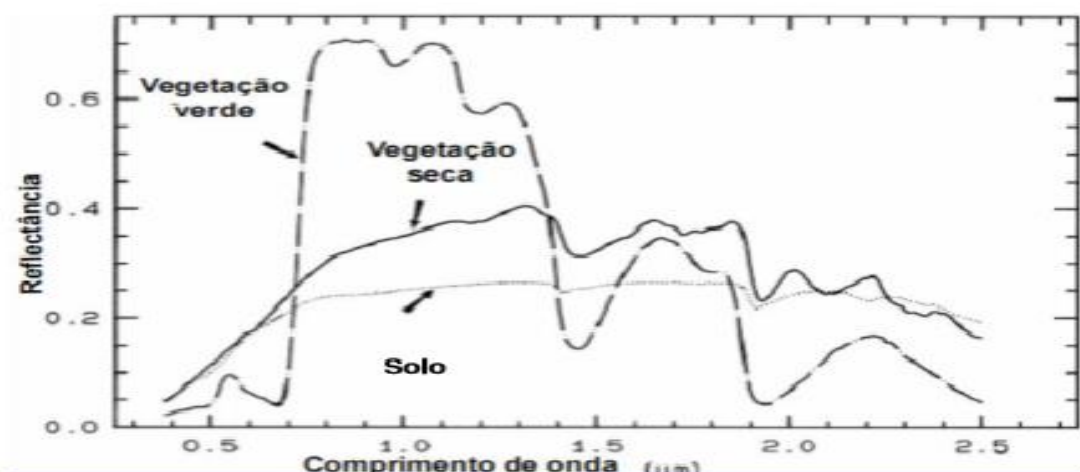


Figura 24: Assinaturas espectrais de vegetação verde, vegetação seca e solo. Adaptado de Gunther (2005).

Neste contexto, Pattenau *et al.* (2005) defendem que a vegetação de cor verde tem uma assinatura espectral fortemente caracterizada por uma reflectância de verde e de infravermelho (no espectro electromagnético) e uma absorvância no vermelho e no infravermelho médio.

Assim, é possível construir índices de vegetação, conhecendo as assinaturas espectrais e as variações dentro das espécies vegetais e nas diferentes superfícies. Estes índices apresentam informação diferente entre si e também, podem ter diferentes aplicações de acordo com o caso de estudo.

3.5.2. Cartas de NDVI

O índice de vegetação utilizado neste trabalho e também o mais utilizado a uma escala global é o NDVI (Coelho *et al.*, 2004), obtido, através da leitura da reflectância do objeto, nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), traduzindo-se pela equação:

$$\text{NDVI} = (\text{IV PRÓXIMO} - \text{VERMELHO}) / (\text{IV PRÓXIMO} + \text{VERMELHO})$$

A interpretação dos valores de NDVI, segundo Paes (2011) e Penteado (2014), faz-se pelo conhecimento prévio de que, as plantas que apresentam um bom vigor vegetativo absorvem a maior parte da radiação V (pois estão em plena fotossíntese) e refletem uma grande parte da radiação IVP. O resultado inverso, acontece quando as plantas se encontram em situação de stress, refletindo mais radiação V e absorvendo menos radiação IVP. Portanto, pela resolução da fórmula acima descrita, o valor do NDVI (adimensional) compreende-se entre -1 e 1 para a maioria dos corpos e entre 0 e 1 para as plantas e corpos na superfície terrestre.

Quanto mais próximo do valor 1 se apresentar o NDVI, melhor é o estado do desenvolvimento vegetativo das plantas da cultura. Por outro lado, os valores próximos de 0, indicam que as plantas se encontram sob determinado stress (hídrico e outros).

O NDVI mede assim, a atividade fisiológica das plantas (quantidade de biomassa), relacionando-se com o Índice de Área Foliar (IAF) e com a produtividade (Coelho *et al.*, 2004).

Para além do NDVI, existem outros índices que analisam o estado fisiológico das plantas, como afirma Paes (2011) e Penteadó (2014), como o Plant Cell Density (eq. 2), Photosynthetic Vigour Ratio (eq.3), Plant Pigment Ratio (eq.4), Wetness inde (eq. 5), Normalized Difference REDEdge (eq. 6) e Plant Senescence Reflectance Index (eq. 7):

$$\text{PCD} = \text{IVP} / \text{VERMELHO} \quad (\text{eq. 2})$$

$$\text{PVR} = \text{VERDE} / \text{VERMELHO} \quad (\text{eq. 3})$$

$$\text{PPR} = \text{VERDE} / \text{AZUL} \quad (\text{eq. 4})$$

$$\text{WI} = (\text{VERMELHO} + \text{VERDE} + \text{AZUL}) / (\text{IVP} + \text{REDEdge}) \quad (\text{eq. 5})$$

$$\text{NDRE} = (\text{IVP} - \text{REDEdge}) / (\text{IVP} + \text{REDEdge}) \quad (\text{eq. 6})$$

$$\text{PSRI} = (\text{VERMELHO} - \text{VERDE}) / \text{IVP} \quad (\text{eq. 7})$$

De modo a obter as imagens de NDVI das parcelas deste trabalho, recorreu-se à consulta do site Land Viewer (<https://eos.com/landviewer/?lat=38.87000&lng=-8.89000&z=11>), ferramenta que está integrada no EOS Platform (plataforma de pesquisa, análise, armazenamento e visualização de dados geoespaciais) e que utiliza informação proveniente de diversas famílias de satélites. Esta informação está disponível a qualquer utilizador, sem custos.

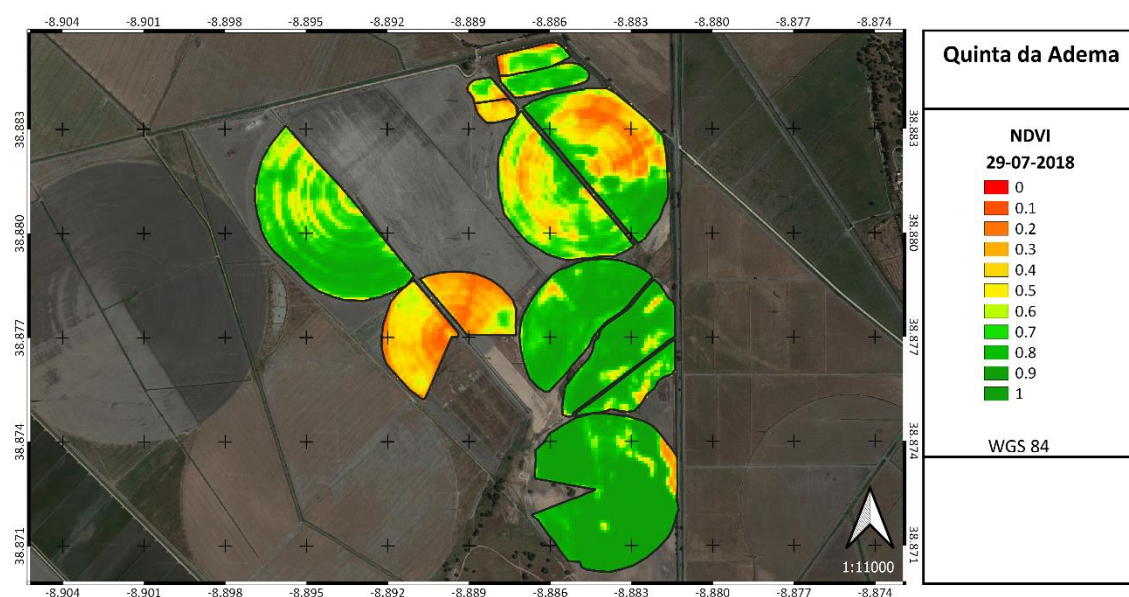


Figura 25: Carta de NDVI da exploração.

A União Europeia criou em 2014 o programa Copernicus, composto por uma constelação de satélites denominada Sentinel. Esta é composta por seis famílias de satélites. A família de satélites escolhida foi a Sentinel-2. A resolução temporal das imagens é de 5 dias, havendo 2 satélites (Sentinel 2-A e Sentinel 2-B). na mesma órbita operando em posições opostas. A resolução espacial das imagens é de 10 metros.

A sensibilidade espectral das quatro bandas, para este valor de resolução espacial, compreende os valores do comprimento de onda de: 0 a 490 nanómetros (Banda B02-Azul); 490 a 560 nanómetros (Banda B03-Verde); 560 a 665 nanómetros (Banda B04-Vermelho) e 665 a 842 nanómetros (Banda B08-Infravermelho Próximo).

Finalmente, as cartas de NDVI foram obtidas com o recurso ao software QGIS, onde se processou e analisou detalhadamente os dados das imagens extraídos do Land Viewer.

Estas cartas representam o índice de vegetação (valor estimado), que são algoritmos matemáticos que resultam da combinação de diferentes bandas espectrais. Trata-se de uma simplificação de múltiplos dados, provenientes das diferentes bandas, registadas apenas num pixel (um único valor numérico), (Penteado, 2014).

3.5.2.1. Fases críticas da cultura do milho para análise do índice de vegetação

Existem duas fases extremamente relevantes/críticas no desenvolvimento da cultura do milho, onde o vigor das plantas é fator preponderante para uma boa produção de grão (Bergamaschi *et al.*, 2004 e Viña *et al.*, 2004). A primeira fase é da floração, que ocorre quando se atinge o fim do desenvolvimento vegetativo e se inicia o desenvolvimento reprodutivo. A floração na Quinta da Adema iniciou-se no princípio de agosto (entre os dias 2 e 3 do mês), sendo, segundo Coimbra (2018), a fase mais crítica e determinante na produção de milho. Portanto, a data escolhida para a análise das cartas de NDVI foi o dia 29-07-2018, ou seja, 3 a 4 dias antes do início da floração.

A fase de pré-floração é preponderante no ciclo cultural, definindo-se um dos componentes de produção (número de grãos/ maçaroca). Nesta data de análise do NDVI, problemas como a falta de água conduzem à redução de flores femininas nas plantas de milho e também, do número de grãos por maçaroca.

Outra ameaça climática desta fase, são as elevadas temperaturas (acima de 35°C), podendo levar à redução do número de grãos/ maçaroca, em resultado de uma reduzida polinização (Paes, 2011).

A segunda fase relevante é a maturação (final do período reprodutivo) onde se dá o enchimento do grão, definindo-se mais um componente de produção: o peso do grão.

Esta fase é interessante do ponto de vista da análise de cartas de NDVI, para estimar a produtividade e analisar quais os problemas que se seguem a partir desta fase até à colheita.

No período de senescência cultural, é importante que a cultura se mantenha verde e vigorosa (característica conhecida como o “stay-green”), bem como resistente a pragas, doenças e a problemas como a acama, procurando o aumento de produtividade.

3.5.3. Cartas de produtividade

As cartas de produtividade apresentadas neste trabalho, foram obtidas através da conjugação entre um monitor de produtividade colocado na ceifeira-debulhadora e um dispositivo recetor GPS, possibilitando a cartografia dos dados recolhidos.

Os monitores de produtividade são compostos por diversos sensores e por uma consola, acoplada na cabine do trator, junto do operador.

A consola permite o registo dos dados e que o operador possa interagir com o equipamento, consultando informação através do cartão de memória e observar os valores dos sensores (quantidade colhida (kg), área colhida (ha), o teor de humidade do grão) em tempo real, possibilitando a estimativa da eficiência do trabalho, quantidade de grão colhida e a produtividade obtida na parcela (Paes, 2011).

Por fim, para obtenção das cartas de produtividade das parcelas, recorreu-se novamente ao software QGIS, para visualização, tratamento e análise dos dados georreferenciados provenientes do monitor de produtividade da ceifeira. A resolução espacial das cartas é de 2m.

No tratamento dos dados, realizou-se o processo de filtragem que teve como objetivo eliminar os dados menos fidedignos, como por exemplo, eliminar valores fora da parcela, valores nulos, valores de produção menores que 1 t/ha, valores de humidade fora dos parâmetros (3x inferiores e 3x superiores ao desvio padrão atribuído à humidade), valores de sobreposições de passagens da ceifeira e valores onde a largura de trabalho se verificou diferente da largura efetiva de trabalho (calculado pelo número de linhas da barra de corte e o espaçamento entre as linhas do milho).

3.6 Análise de cartas de NDVI e cartas de Produtividade

As cartas de NDVI, datadas de 29 de julho de 2018, são apresentadas segundo uma legenda forçada e diferente entre cada uma delas, devido à facilidade de saturação dos níveis de biomassa elevados. Portanto, os valores estão no intervalo de 0,1 em 0,1 e fazem-se variar os valores mínimos e máximos da escala de avaliação.

Nas cartas de produtividade, foi usada a mesma escala de leitura, de 2 em 2 t/ha. Assim, apresentam-se os mesmos valores mínimos e máximos da escala, de modo a facilitar a comparação visual entre cartas.

A finalidade deste esquema de trabalho descrito acima, foi a realização de uma comparação entre cartas de NDVI e cartas de Produtividade, para as cinco parcelas regadas por pivot e para as três parcelas regadas por canhão de rega. Desta forma, tenciona-se estudar a estatística descritiva dos parâmetros (média, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo e amplitude), nas diversas parcelas dos dois sistemas de rega.

Assim, analisar-se-á detalhadamente os parâmetros acima descritos com o intuito de perceber aspetos como: a relação entre a variabilidade espacial de NDVI e a produtividade (pelos coeficientes de variação); a relação entre as parcelas com valores de média de produções mais altas com as médias de NDVI mais elevados, a relação entre as parcelas mais produtivas e os valores de produtividade e NDVI máximos (mais elevados), a relação entre a variabilidade espacial e as amplitudes; e a comparação visual entre cartas.

Propõe-se também, fazer uma análise de correlação entre as cartas de NDVI e as cartas de produtividade, de modo a compreender a relação existente entre a data escolhida de análise do desenvolvimento cultural e a produtividade final. Quanto mais elevado for o valor, maior será a correlação entre cartas e, portanto, mais explicativas serão as cartas de produtividade em função das cartas de NDVI.

3.7 Caracterização das variedades de milho

As sementes foram oriundas de duas marcas destacadas do mercado nacional, sendo estas a Pioneer e a Deckalb.

Usaram-se da marca Pioneer, as variedades P0937 e a P0023, enquanto que da marca Deckalb utilizaram-se as variedades DCK 6031 e a DCK 5741.

Na tabela seguinte, descrevem-se alguns parâmetros apresentados no catálogo das variedades. É de total interesse para o agricultor, de modo a poder optar pela variedade que dê mais garantias de atingir os objetivos de produção, em função das condições edafo-climáticas que lhe são apresentadas. Estão também na tabela, as densidades de plantas utilizadas e a sua distribuição nas parcelas da exploração.

Tabela 1: Caracterização das variedades de milho.

Variedade	Ciclo FAO	CR M*	Densidade de plantas utilizada	Peso específico (kg/m ³)	Tolerância à <i>Cephalosporium</i>	Tolerância à <i>Helminthosporium</i>	Parcelas utilizadas
P0937	500	109	92 000; 92 000; 85000	Médio (6)	Moderada	Muito Boa	P1; Metade do P2, C1, C2 e C3; P5
P0023	300	100	90 000	Médio Alto (8)	Baixa	Boa	P3
DCK 6031	600/500	110	87 500	Médio (6)	Alta	Média	P4
DCK 5741	500	105	92 000	Médio (6)	Baixa	Média	Metade do P2

*CRM – Comparative Relative Maturity – Duração média do ciclo em dias até à maturação.

Aplicaram-se maioritariamente variedades de ciclo longo (ciclo FAO-500), sendo que na parcela – Pivot 3 – optou-se por um ciclo mais curto devido a dificuldades no acesso ao terreno para efetuar as gradagens (solo encharcado), provocando um atraso na data de sementeira.

3.8 Adubação das parcelas

Tabela 2: Caracterização dos adubos.

	Adubo	Kg/ha	N	P	K
Pivot 1	DAP (18-46-0)	264	48	121	0
	Sulfato K (0-0-50)	155	0	0	78
	Yara Veras Amidas (40-0-0)	357	143	0	0
	Solução 32N (32-0-0)	203,6	65	0	0
	Totais	-	255	121	78
Pivot 2	DAP (18-46-0)	264	48	121	0
	Sulfato K (0-0-50)	155	0	0	78
	Yara Veras Amidas (40-0-0)	357	143	0	0
	Solução 32N (32-0-0)	203,6	65	0	0
	Totais	-	255	121	78
Pivot 3	Duracomplex (6-5-17)	420	25	21	71
	Protect (25-15-00)	240	60	36	0
	Yara Veras Amidas (40-0-0)	357	143	0	0
	Agristart 25kg (10-40-00)	25	3	10	0
	Solução 32N	203,6	65	0	0
	Totais	-	296	67	71
Pivot 4	DAP (18-46-0)	264	48	121	0
	Sulfato K (0-0-50)	155	0	0	78
	Yara Veras Amidas (30-0-0)	357	107	0	0
	Solução 32N (32-0-0)	307	98	0	0
	27 S Zimatic (27-0-0)	300	81	0	0
	Totais	-	334	121	78
Pivot 5	Amicot cv60 (15-35-0)	250	38	88	0
	Nergetic K (0-12-30)	350	0	42	105
	Yara Veras Amidas (40-0-0)	357	143	0	0
	Solução 32N (32-0-0)	307	98	0	0
	27 S Zimatic (27-0-0)	300	81	0	0
	Totais	-	360	130	105
Canhões de rega	DAP (18-46-0)	264	48	121	0
	Sulfato K (0-0-50)	155	0	0	78
	Yara Veras Amidas (40-0-0)	357	143	0	0
	Solução 32N (32-0-0)	203,6	65	0	0
	Totais	-	255	121	78

A adubação das parcelas foi feita com base no conhecimento prévio das campanhas de produção de milho, de anos anteriores. Para tal, utilizou-se a mesma sequência de adubos nas parcelas Pivot 1, Pivot 2, Pivot 4 e nos 3 canhões de rega. As parcelas Pivot 3 e Pivot 5 seguiram uma estratégia de adubação diferente.

Nos Pivot 1, Pivot 2, Pivot 4 e nos 3 canhões de rega, efetuou-se antes da sementeira uma adubação de fundo a lanço com o adubo DAP:18:46:00, à taxa de 264 kg/ha com vista a reposição dos níveis de azoto e principalmente de fósforo, extraídos na cultura de milho anterior. De seguida, aplicou-se nos primeiros estados vegetativos o adubo Sulfato K, com o objetivo de fornecer potássio suficiente ao desenvolvimento vegetativo. Voltou-se a fornecer azoto, através do adubo Yara Veras Amidas, na operação cultural da sacha. Finalmente, aplicou-se através da fertirrega o adubo 32N, para que houvesse azoto disponível para a cultura, até iniciar o desenvolvimento reprodutivo.

No caso do Pivot 3, optou-se pela aplicação do adubo ternário Duracomplex 6:5:17 e de seguida aplicou-se o Protect 25:15:00. Como esta é a parcela mais difícil de trabalhar, devido aos problemas de falta de drenagem e por ser uma terra geralmente fria que dificulta a germinação da semente, aplicou-se o microgranulado Agristart. Na sacha e antes do fim do ciclo vegetativo, os adubos utilizados foram os mesmos das restantes parcelas.

Em relação ao Pivot 5, aplicou-se o Nergetic K, de fundo, seguido da aplicação localizada do AMICOTE CV 60 STARTER. Na sacha e na cobertura por fertirrega os adubos foram os mesmos das outras parcelas, com exceção para a aplicação do adubo 27S.

Os totais da fertilização variaram entre as 255 e as 360 unidades de azoto, as 67 e as 130 unidades de fósforo e entre as 71 e 105 unidades de potássio. As unidades aplicadas em cada adubo, encontram-se na tabela 2.

3.9 Conta de cultura

Foram contabilizados todos os fatores de produção associados à cultura do milho, nas diferentes parcelas em estudo. Calcularam-se as despesas relacionados com todas as operações e respetivos fatores, nomeadamente com a preparação da terra, a sementeira, a fertilização, os tratamentos fitossanitários, a rega, a colheita, os transportes e a secagem do grão.

O cálculo da receita foi efetuado a partir das quantidades produzidas de grão verde e grão seco.

Por fim, calculou-se o resultado empresarial e fundiário. Este valor é gerado através da subtração das despesas totais à receita bruta.

3.10 Pragas e infestantes

As principais pragas observadas foram:

❖ **Broca (*Sesamia nonagrioides*)**



❖ **Javali (*Sus scrofa*)**

Os estragos provocados por javalis numa das parcelas de estudo, observam-se na figura abaixo. Segundo a ANPROMIS (2019), houve um prejuízo causado por esta praga a rondar um milhão de euros, no ano de 2018, com especial enfoque para a lezíria ribatejana.



❖ **Joaninha (*Coccinella septempunctata*)**

Estes insetos auxiliares são indicadores da presença de afídeos e do baixo grau de resíduos de fitofarmacêuticos no campo. Embora tivéssemos observado joaninhas a presença de afídeos não tinha expressão de praga sendo esta espécie auxiliar suficiente para a controlar. Pode-se concluir através da observação desta espécie que a produção de milho na Quinta da Adema é também sustentável do ponto de vista ambiental.



❖ **Rosca do milho (*Agrotis spp*)**

Fonte: Syngenta.



❖ ***Spodoptera exígua***



As principais infestantes observadas foram:

❖ **Ervilha (*Pisum sativum*)**



A ervilha foi a cultura precedente (no pivot 5), apresentando-se algumas plantas desta cultura nas entrelinhas do milho. Esta infestante não afetou a cultura de interesse, devido ao tratamento com o herbicida, bem como o facto de o ciclo da cultura da ervilha estar desfasado com o seu calendário de produção.

As restantes infestantes observadas apresentam se na página seguinte.



Lista de infestantes observados (enumeração feita no sentido esquerda-direita e de cima-baixo:

1. Beldroega (*Portulaca oleracea*);
2. Catassol (*Chenopodium album*)
3. Milhã digitada (*Digitaria sanguinalis*);
4. Figueira do inferno (*Datura stramonium*)
5. Grama (*Cinodon dactylon*).



Figura 27: Testemunha da utilização do herbicida.

Na globalidade, as parcelas encontraram-se limpas, sem a presença de infestantes que competissem com as plantas de milho. No entanto, observaram-se em todos os pivots e em todos os setores regados com canhão de rega a presença de um caso ou outro pontual de algum tipo infestantes que tenham resistido ao herbicida, sem motivo de preocupação para o agricultor. Contudo, houve com uma excelente resposta por parte do herbicida de pré-emergência a controlar a sua disseminação.

As infestantes já acima referidas, que resistiram ao herbicida, foram eliminadas através da monda mecânica (sacha), realizada quando a cultura se encontrava à altura do joalheiro.

Na imagem acima, verifica-se a presença de infestantes nas zonas onde não se realizou a monda química, que serviu de testemunha para analisar a eficácia da aplicação herbicida. É notório as zonas onde se aplicou o herbicida, bem como as zonas que delimitam a parcela de produção que não se aplicou.

❖ Monda química

Tabela 3: Caderno de campo - Caracterização dos tratamentos fitossanitários.

Tipo	Produto comercial	Concentração/dose (L/ha)	Inimigo visado	Estado fenológico	Parcelas alvo
Herbicida	Adengo	0,25	Vários	Pré-emergência	Todas
	Aspect	1,5	Vários	Pré-emergência	Todas
Inseticida	Decis Expert	0,125	Agrotis spp	V3/V4	Todas
	Coragen	0,15	<i>Spodoptera exíqua</i>	V9/V10	P2 e P3

Os herbicidas utilizados em pré-emergência foram aplicados com base no conhecimento prévio da flora infestante da parcela, obtida pelo histórico dos anos anteriores. O objetivo da aplicação de pré-emergência foi de recorrer apenas a uma aplicação para garantir a limpeza do campo até à sacha, altura em que a cultura do milho fecha o campo, (ensombrando o solo), inviabilizando o aparecimento de novas emergências.

Utilizou-se o Adengo (grupo químico: Isoxazol + sulfonilamino-carbonil-triazolinona) e o Aspect (grupo químico: Oxiacetamida + triazina).

Optou-se por esta conjugação de dois herbicidas com quatro modos de ação diferentes, por um lado pelo alargamento de espectro e pelo outro por uma questão de boas práticas reduzindo o risco de resistências.

O inseticida de contacto e ingestão Decis Expert (grupo químico: piretróide) foi aplicado para combater a praga *Agrotis* spp., que é um lepidóptero (noctuídeo), que ataca as plantas de milho em fases precoces de desenvolvimento, “mordendo” os caules e acabando por matar as plantas.

Por fim, realizou-se o tratamento com o inseticida também de contacto e ingestão Coragen (grupo químico: diamida antranílica), para controlar o nível populacional da praga desfolhadora: *Spodoptera exigua* (praga resistente aos inseticidas piretróides). Esta aplicação tem um custo bastante mais elevado e apenas foi realizado em duas parcelas, onde se observaram os níveis económicos de ataque.

A técnica de amostragem para diagnosticar os problemas fitossanitários, foi a observação de órgãos vegetais pelo método de observação visual. Segundo a DGADR (2010), a metodologia aplicada consistiu em analisar uma amostragem representativa, no mínimo com incidência em 100 plantas. Observou-se 10 pontos contíguos ao acaso em cada parcela e para cada ponto examinou-se 10 plantas. Percorreram-se as parcelas na diagonal e no sentido contrário ao do vento.

Teve-se também em conta a época de observação, o tipo e o número de órgãos afetados e a existência de risco, para cada praga.

Após a fase de amostragem, analisou-se o nível económico de ataque (NEA) das pragas que se registaram no campo, sendo este o indicador do aspeto ecológico e económico da parcela. A DGADR (2010) afirma que o NEA é o indicador que mede a intensidade de ataque de uma praga a partir do qual se deve tomar medidas para reduzir e controlar o seu nível populacional, de modo a evitar danos de natureza económica.

As pragas que atingiram os NEA, seguindo novamente a metodologia da DGADR (2010), registaram valores de 4-5% de plantas atacadas entre os estados fenológicos V3-V7 (*Agrotis* spp) e >3% de caules infestados com a praga, no início dos estados móveis (*Sesamia nonagrioides*).



Figura 28: Tratamento fitossanitário de pré-emergência.

❖ **Monda mecânica (Sacha)**

Realizou-se em todas as parcelas a operação cultural – sacha. Iniciou-se na parcela que foi primeiramente semeada (pivô 5 – 2 de junho) até à última a ser semeada (pivô 3 – 20 de junho), sendo possível realizar esta operação toda de seguida.

Esta intervenção na parcela efetuou-se simultaneamente com a distribuição de adubo de cobertura.

Tem como principal objetivo abrir o solo até uma profundidade de cerca de 30cm, possibilitando o arejamento e descompactação, permitindo um melhor crescimento e desenvolvimento das raízes do milho.

Desta forma, eliminou-se as infestantes que se encontravam nas entrelinhas da cultura.

4. Resultados e Discussão

Por observação visual no campo, os problemas responsáveis dos resultados obtidos são principalmente a existência de impermees nas parcelas, dificultando a infiltração de água no solo, resultando num excesso de água à superfície. Estes impermees foram observados através da abertura de perfis de solo (disponíveis para consulta no anexo VI). Os locais onde se realizaram a abertura dos perfis encontram-se sinalizados nas cartas de NDVI das parcelas.

4.1 Avaliação da rega nos pivots

Realizou-se para os cinco pivots o mesmo procedimento de simulação (Anexo V) com o intuito de analisar essencialmente quatro aspetos relevantes para este estudo, que se descrevem de seguida: a eficiência de rega calculada através do programa, a relação entre a evapotranspiração cultural/máxima, a quebra de produção devida ao esquema de rega escolhido (descrito na página 22) e a apresentação do gráfico com o balanço hídrico do solo.

Nos gráficos, o espaço compreendido entre a capacidade de campo (CC) e o limite da reserva facilmente utilizável (LRFU), caracteriza-se como a zona de conforto hídrico da cultura.

Utilizou-se uma eficiência efetiva de rega para o sistema de rega por pivot de 90%.

❖ Pivot 1

Volume fornecido no período de rega -----> 466.2 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 39.2 mm
 Eficiência de rega -----> 91.6 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 540.5 mm
 " cultural (ETc) = 540.5 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ETc/ETm = 1.000$$

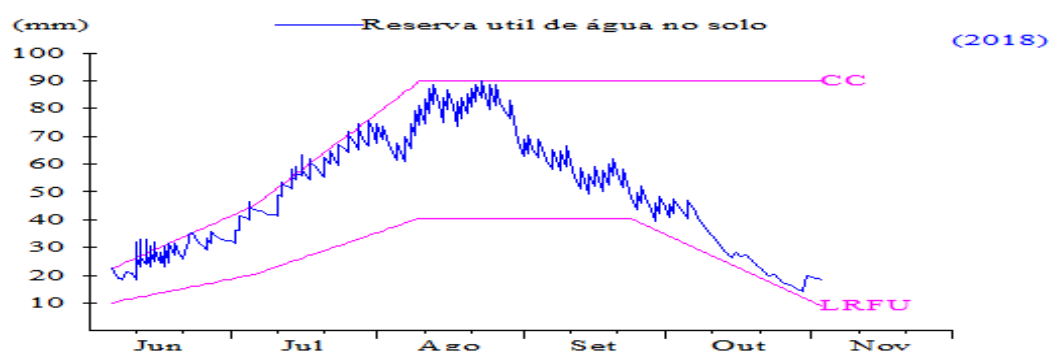


Figura 29: Pivot 1- resultados do programa ISAREG.

A eficiência de rega calculada pelo programa foi de 91,6%, resultado das regas no mês de junho e julho terem excedido as dotações necessárias. O gráfico indica que as regas foram adequadas, encontrando-se maioritariamente na zona de conforto hídrico.

Verificou-se um “cuidado adicional” até a floração e depois, deixando-se baixar o teor de água no solo (sem nunca baixar do limite da RFU). Esta prática foi comum a todos os pivots, resultado da estratégia de rega do produtor, relacionada com a agricultura de precisão.

A água nunca esteve abaixo da LRFU, fazendo com que o modelo não contabilizasse perdas de produção.

❖ Pivot 2

A análise deste pivot foi dividida em duas partes, pois foram utilizadas duas variedades culturais. Utilizou-se a variedade P0937 na metade do pivot orientada a Norte. Como na variedade DCK 5741, os dados agronômicos introduzidos no modelo são iguais, a análise na metade do pivot 2, voltada a Sul, é exatamente a mesma.

```

Volume fornecido no período de rega -----> 490.5 mm
Volume perdido por excesso de água na rega -----> 91.1 mm
Eficiência de rega -----> 81.4 %

```

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

```

Evapotranspiração máxima (ETm) = 531.8 mm
"      cultural (ETc) = 515.4 mm

```

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$ETc/ETm = 0.969$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$Ky * (1 - ETc/ETm) = 3.7\%$

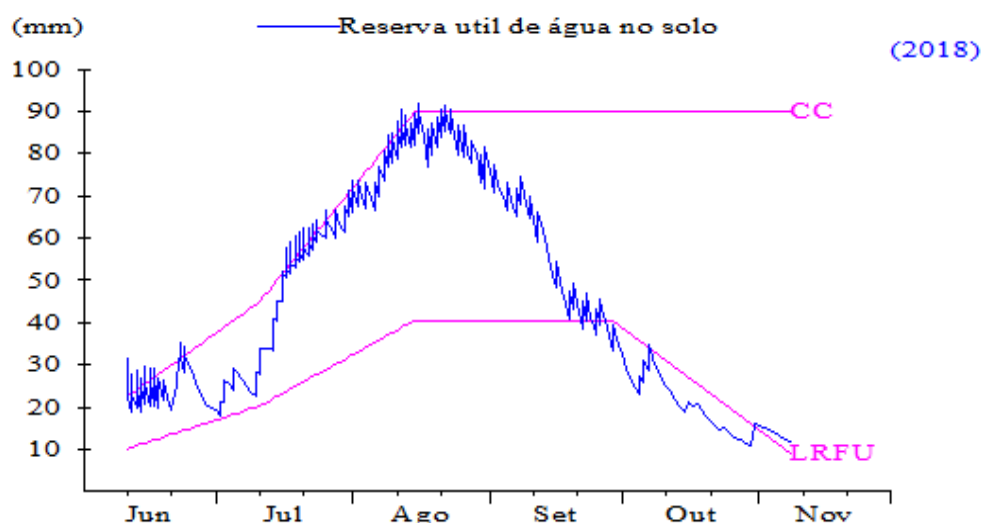


Figura 30: Pivot 2 - resultados do programa ISAREG.

A eficiência de rega rondou os 80%, resultado de um calendário de rega um pouco desajustado, com excesso de água na fase de floração.

A estratégia de rega do produtor é bem visível.

A quebra de produção ilustrada na fase de maturação, deve-se a alguma precipitação na fase cessar as regas e com graves problemas técnicos (atascamentos) no final de setembro/ outubro, como se observa no gráfico acima.

❖ Pivot 3

Volume fornecido no período de rega -----> 423.0 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 40.1 mm
 Eficiência de rega -----> 90.5 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 506.5 mm
 " cultural (ETc) = 493.2 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ETc/ETm = 0.974$$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$$Ky*(1-ETc/ETm) = 3.2\%$$



Figura 31: Pivot 3 - resultados do programa ISAREG.

A eficiência de rega calculada rondou os 90%, devido ao excesso nas dotações na fase de crescimento vegetativo.

Fruto de problemas técnicos (dois atascamentos no final dos meses de junho e julho) deste sistema de rega, verificou-se uma descida do teor de água no solo na fase que antecedeu a floração, resultando em quebra de produção (no primeiro atascamento).

Transversal a todos os pivots, observou-se a mesma estratégia de rega, neste caso culminando em quebra de produção na fase final do ciclo cultural (como se observa no gráfico acima).

❖ Pivot 4

Volume fornecido no período de rega -----> 438.3 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 4.9 mm
 Eficiência de rega -----> 98.9 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 549.1 mm
 " cultural (ETc) = 544.2 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ETc/ETm = 0.991$$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$$Ky * (1 - ETc/ETm) = 1.1\%$$

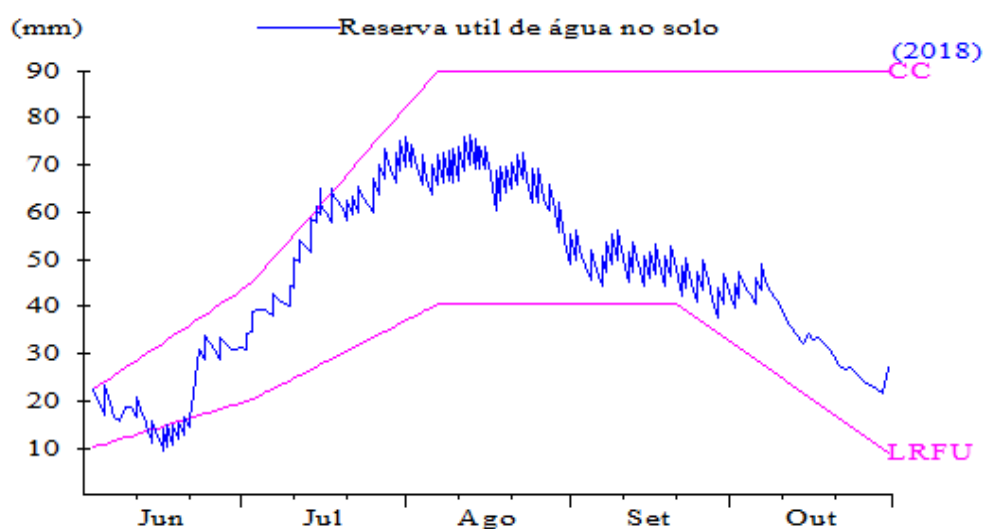


Figura 32: Pivot 4- resultados do programa ISAREG.

A melhor eficiência de rega calculada pelo programa observou-se neste pivot.

A estratégia implementada pelo produtor é novamente visível.

No geral, apresenta um bom gráfico do balanço hídrico, com uma perda de produção em meados do mês de junho.

❖ Pivot 5

Volume fornecido no período de rega -----> 433.4 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 9.0 mm
 Eficiência de rega -----> 97.9 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 548.8 mm
 " cultural (ETc) = 536.6 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ET_c/ET_m = 0.978$$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$$K_y * (1 - ET_c/ET_m) = 2.7\%$$

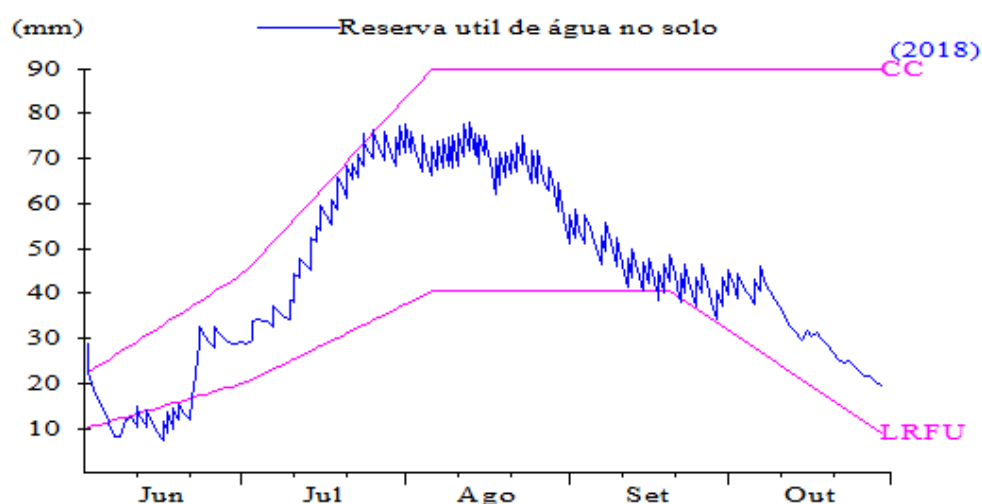


Figura 33: Pivot 5- resultados do programa ISAREG.

O pivot 5 demonstrou bastantes similaridades com o pivot 4. Tal facto deve-se a estes pivots serem bastante próximos e as condições do solo serem muito semelhantes.

Registou quebras de produção relevantes na fase inicial do ciclo (tal como o pivot 4).

Neste caso de estudo também se observa a estratégia de regas aplicadas.

4.2 Avaliação da rega nos canhões

Nas parcelas regadas através de canhão de rega, analisaram-se os mesmos aspetos no programa ISAREG do sistema de rega por pivot.

O procedimento de simulação utilizado nos canhões de rega, encontra-se no Anexo V.

Utilizou-se uma eficiência do sistema de rega através de canhão de rega, no valor de 80%, contemplando maiores desperdícios por escoamento superficial (além das perdas por evaporação) devido às elevadas dotações.

❖ Canhão de rega 1

```
Volume fornecido no período de rega -----> 636.0 mm
Volume perdido por excesso de água na rega -----> 194.9 mm
Eficiência de rega -----> 69.4 %
```

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

```
Evapotranspiração máxima (ETm) = 535.2 mm
" cultural (ETc) = 524.0 mm
```

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$ETc/ETm = 0.979$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$Ky * (1 - ETc/ETm) = 2.5\%$

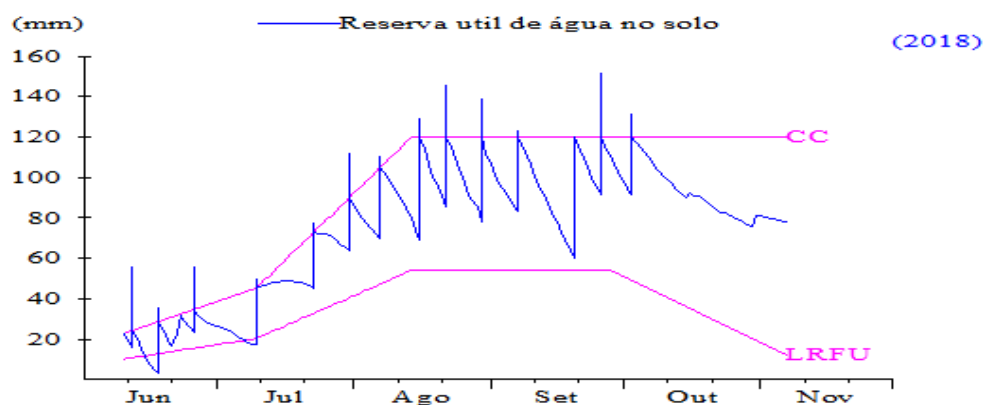


Figura 34: Canhão 1 - resultados do programa ISAREG.

O canhão 1 caracterizou-se pela pior eficiência de rega das três parcelas regadas através de canhão de rega, devido às elevadas dotações de rega aplicadas (como se observa no gráfico acima), conduzindo a excessos de rega.

A quebra de produção foi assinalada apenas no início do ciclo, devido ao atraso no dia da rega.

❖ Canhão de rega 2

Volume fornecido no período de rega -----> 536.0 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 90.7 mm
 Eficiência de rega -----> 83.1 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 535.2 mm
 " cultural (ETc) = 519.9 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ET_c/ET_m = 0.971$$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$$K_y * (1 - ET_c/ET_m) = 3.4\%$$

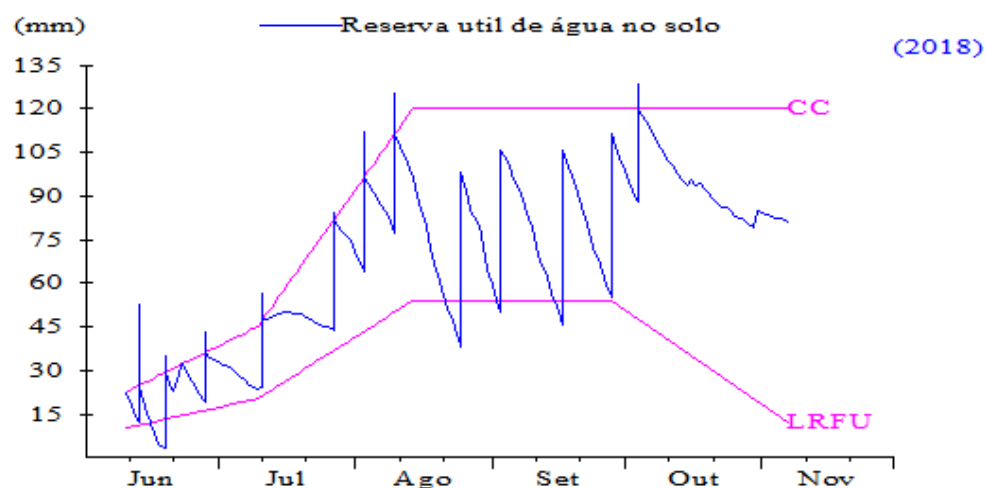


Figura 35: Canhão 2 - resultados do programa ISAREG.

O canhão de rega 2 caracterizou-se pela melhor eficiência de rega calculada pelo programa no que diz respeito a canhões de rega. Mesmo assim, houve excessos de dotações aplicadas e um elevado teor de água na fase final do ciclo.

Pela observação do gráfico acima, verificam-se atrasos na intervenção das regas, culminando em quebra de produção.

❖ Canhão de rega 3

Volume fornecido no período de rega -----> 540.0 mm
 Volume perdido por excesso de água na rega -----> 141.5 mm
 Eficiência de rega -----> 73.8 %

EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA DURANTE O PERÍODO DE REGA:

Evapotranspiração máxima (ETm) = 535.2 mm
 " cultural (ETc) = 524.4 mm

RELAÇÃO ENTRE AS EVAPOTRANSPIRAÇÕES CULTURAL E MÁXIMA :

$$ETc/ETm = 0.980$$

QUEBRA DE PRODUÇÃO DEVIDA AO ESQUEMA DE REGA ESCOLHIDO

$$Ky*(1-ETc/ETm) = 2.4\%$$

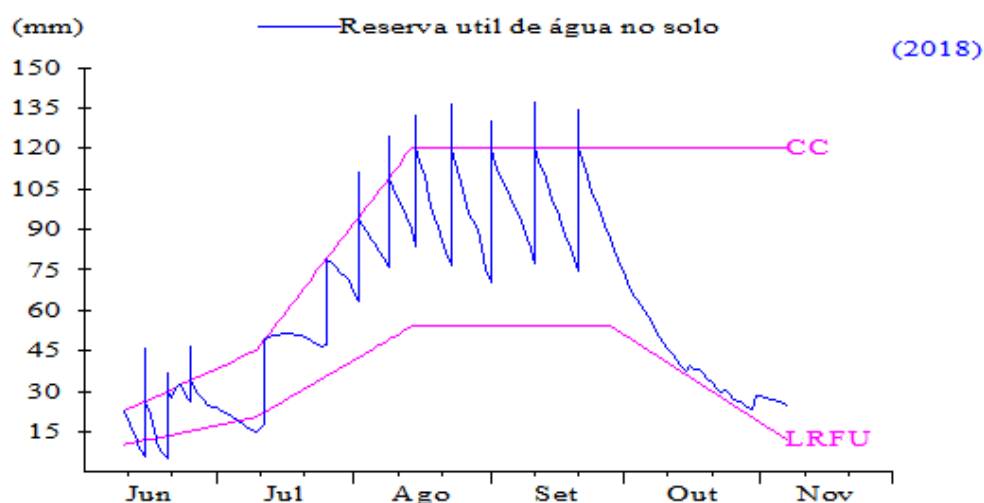


Figura 36: Canhão 3 - resultados do programa ISAREG.

O canhão de rega 3 apresentou também dotações de rega excessivas, resultando em desperdícios de água.

Houve também quebra de produção na fase inicial do ciclo, resultado do atraso da intervenção das regas.

O gráfico ilustrado acima, mostra uma boa redução do teor de água no solo no final do ciclo.

4.3 Análise global dos parâmetros de rega

A tabela seguinte resume os principais resultados dos sistemas de rega analisados.

Tabela 4: Análise de parâmetros sobre a rega.

Sistema	Parcela Nº	Tipo de solo predominante	Volume total de rega (mm)	Volume perdido por excesso (mm)	Eficiência de rega (%)	Razão ET_o/ET_m	Quebra de produção (%)
Pivot	1	Asac	466,2	39,2	91,6	1	0
	2-Lado Norte	Asac	490,5	91,1	81,4	0,969	3,7
	2-Lado Sul	Asac	490,5	91,1	81,4	0,969	3,7
	3	Assac	423	40,1	90,5	0,974	3,2
	4	Assac/Rg	438,3	4,9	98,9	0,991	1,1
	5	Rg	433,4	9	97,9	0,978	2,7
Canhão	1	Asac	636	194,9	69,4	0,974	2,5
	2	Asac	536	90,7	83,1	0,971	3,4
	3	Asac	540	141,5	73,8	0,980	2,4

A seguinte tabela permite comparar os dois sistemas de rega fixando o tipo de solo predominante (Asac). Na última linha da tabela apresentam-se as variações percentuais da comparação entre os valores médios registados nos dois sistemas.

Tabela 5: Comparação dos 2 sistemas de rega, fixando o tipo de solo predominante (Asac).

Sistema	Tipo de solo predominante	Volume total de rega (mm)	Volume perdido por excesso (mm)	Eficiência de rega (%)	Razão ET_o/ET_m	Quebra de produção (%)
Pivot	Asac	482,4	73,8	84,8	1,0	2,5
Canhão	Asac	570,7	142,4	75,4	1,0	2,8
Canhão vs. Pivot (%)		118%	193%	89%	100%	112%

❖ Pivots

No panorama geral, a cultura no sistema de rega por pivot, esteve maioritariamente em conforto hídrico, não havendo perdas de produção consideráveis (sendo a maior de 3,7% no pivot 2).

Foi delineada uma estratégia de rega - disponibilidade de água sempre perto da capacidade de campo até à fase de enchimento do grão e posteriormente, uma redução desta disponibilidade para valores perto do limite da reserva facilmente utilizável – comum aos cinco pivots em análise como demonstram os gráficos.

Como se observa na tabela 4, as eficiências de rega calculadas pelo programa foram superiores a 90% (com exceção do pivot 2), com destaque para os pivots 4 e 5, atingindo eficiências na casa dos 98-99%. A eficiência de rega estimada pelo programa é calculada em função do volume de água perdido por excesso nas regas, que nos casos dos pivots 4 e 5, registaram-se valores de perdas de água bastante baixos. Tal facto, deve-se à homogeneidade de ambos os pivots. Ou seja, como o crescimento da cultura se demonstrou sempre homogéneo, foram aplicadas as necessidades hídricas com bastante precisão.

No entanto, nos outros três cenários (pivots 1, 2 e 3), devido a fatores como a variabilidade dos solos, o relevo da parcela e a salinidade, não foi possível ajustar as quantidades necessárias de água a cada zona da parcela. Assim, a eficiência da rega foi um pouco mais baixa.

A relação ET_c/ET_m foi próxima de 1 - demonstrando que houve uma quase completa satisfação das necessidades hídricas, embora nem sempre na altura certa.

❖ Canhões de rega

A eficiência de rega não foi constante nas três simulações do programa, oscilando entre os 69,4% e os 83,1%. Registou-se um excesso de dotações de rega, ao longo de todo o ciclo, explicado pela maior complexidade de utilização deste sistema de rega, fazendo-se apenas uma vez por semana em cada parcela e por isso, com maiores dotações de rega.

As quebras de produção na fase inicial do ciclo, deveram-se ao atraso na intervenção da rega. Em todos os canhões de rega a relação ET_c/ET_m foi próxima de 1, significando que houve uma completa satisfação das necessidades hídricas, embora nem sempre na altura certa.

O excesso de água no solo no final do ciclo no canhão 1 e 2, podia ter sido evitado através de uma última rega de menor dotação.

❖ Comparação dos sistemas

Comparando a intervenção do canhão de rega com o pivot, na cultura do milho, o canhão aplicou semanalmente a mesma dotação de rega numa passagem, enquanto que qualquer um dos cinco pivots o fazia em 5-7 passagens. Esta situação promoveu grandes oscilações na quantidade de água no solo, desde o limite da reserva facilmente utilizável até valores muito superiores à capacidade de campo (desperdiçando água e baixando a eficiência de rega).

De modo a analisar o desempenho dos dois sistemas de rega, no mesmo tipo de solo predominante (Asac), foi elaborada a tabela 5. Nesta, é possível verificar que o sistema de rega por pivot foi o mais satisfatório, com menos volume de água total aplicada, de menos volume perdido por excesso e uma eficiência de rega aproximadamente 10% superior. Como se observa na última linha da tabela, a relação entre os dois sistemas, possibilita afirmar que em todos os parâmetros o sistema de rega por pivot foi mais vantajoso.

4.4 Estatística descritiva, cartas de NDVI e cartas de produtividade (pivots)

❖ Pivot 1

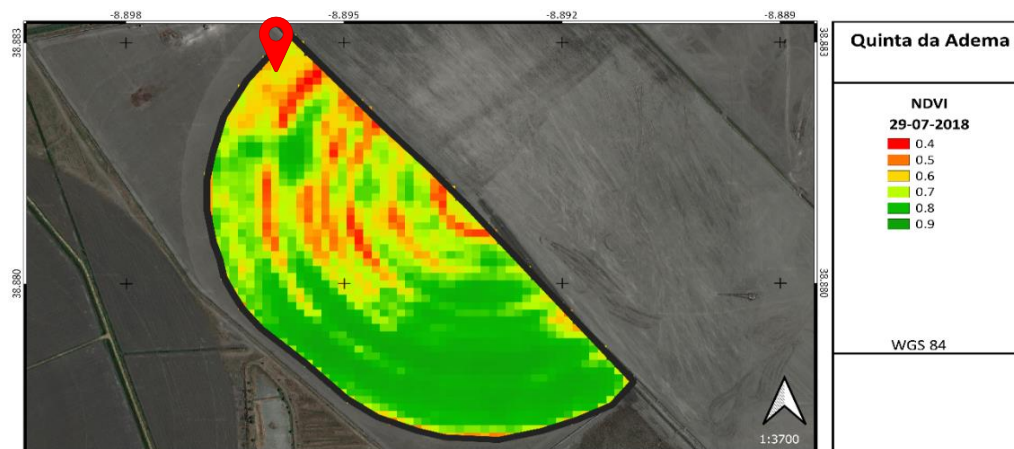


Figura 37: Carta de NDVI do pivot 1.

Tabela 6: Estatística descritiva do NDVI do pivot 1.

Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
0,73	0,11	15,1	0,39	0,89	0,50

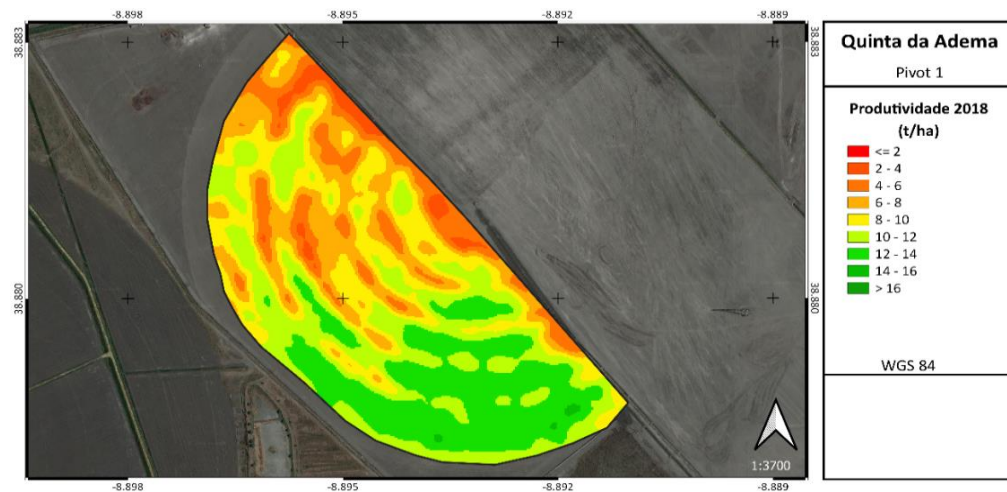


Figura 38: Carta de produtividade do pivot 1.

Tabela 7: Estatística descritiva da produtividade do pivot 1.

Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
9,5	2,8	29,2	2,2	14,4	12,2

Área da parcela: 15,1 ha.

❖ Pivot 2

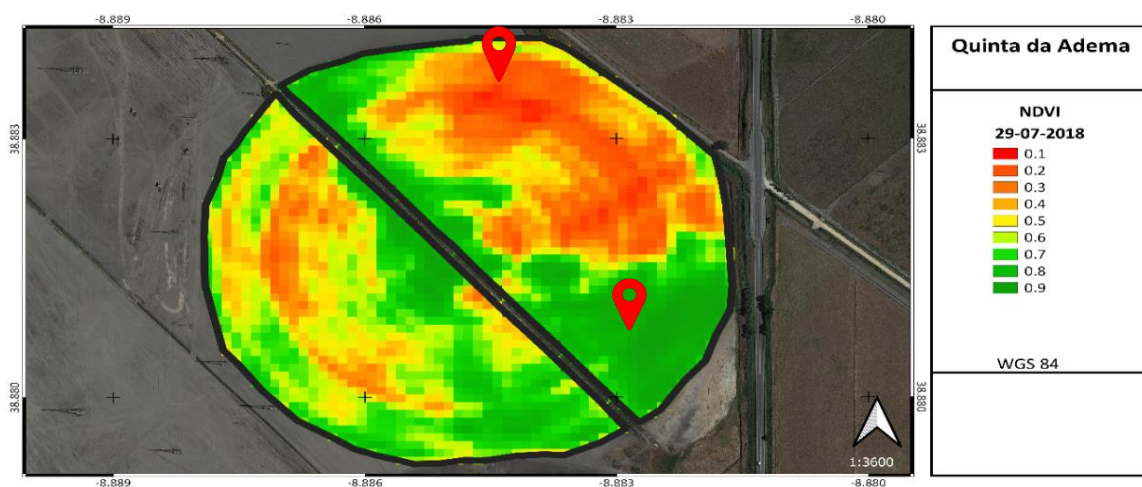


Figura 39: Carta de NDVI do pivot 2.

Tabela 8: Estatística descritiva do NDVI do pivot 2.

Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
0,57	0,20	35,1	0,14	0,90	0,76

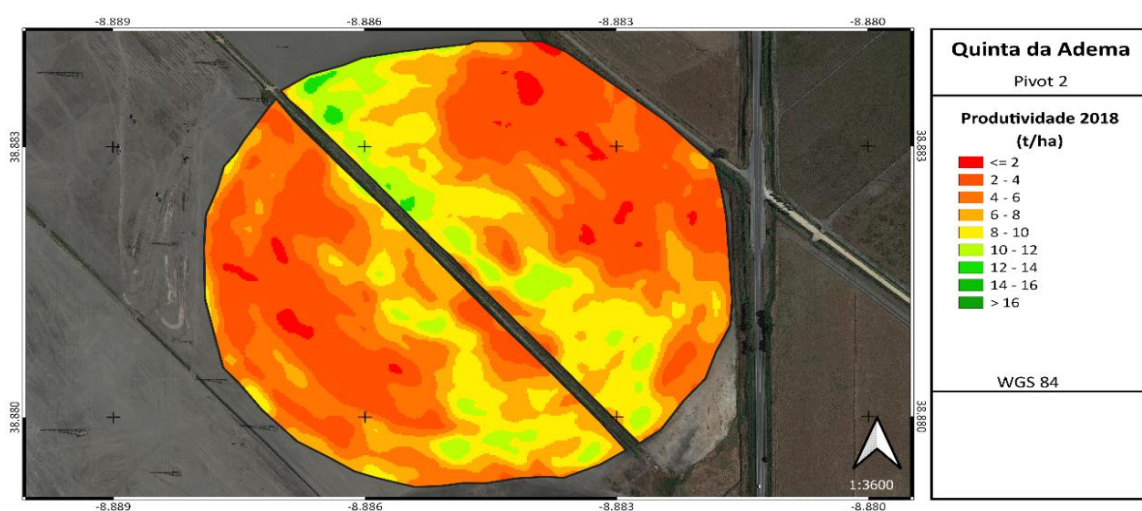


Figura 40: Estatística descritiva da produtividade do pivot 2.

Tabela 9: Estatística descritiva da produtividade do pivot 2.

Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
5,8	2,6	45,9	1,4	13,4	12,0

Área da parcela: 23,4 ha.

❖ Pivot 3

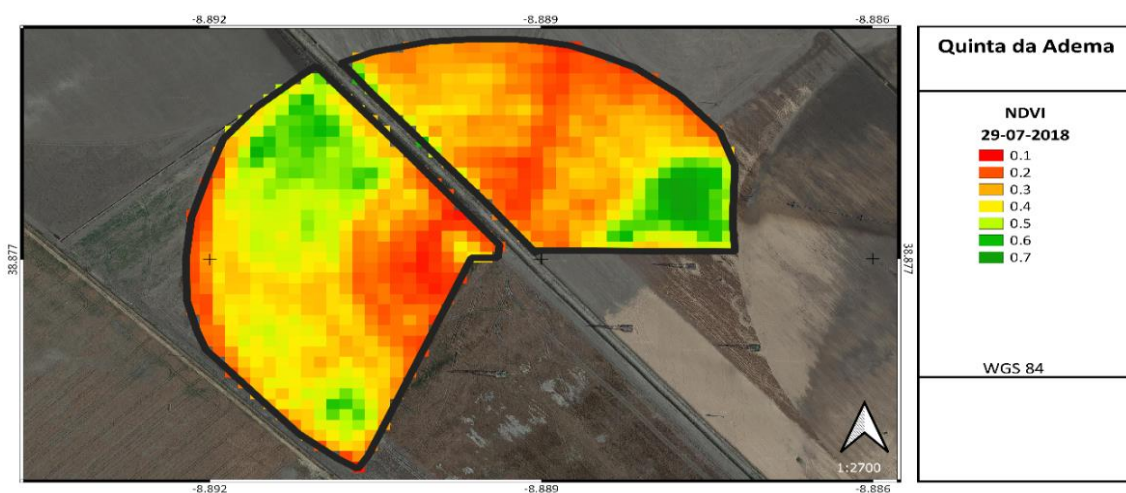


Figura 41: Carta de NDVI do pivot 3.

Tabela 10: Estatística descritiva do NDVI do pivot 3.

Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
0,35	0,12	34,3	0,13	0,73	0,60

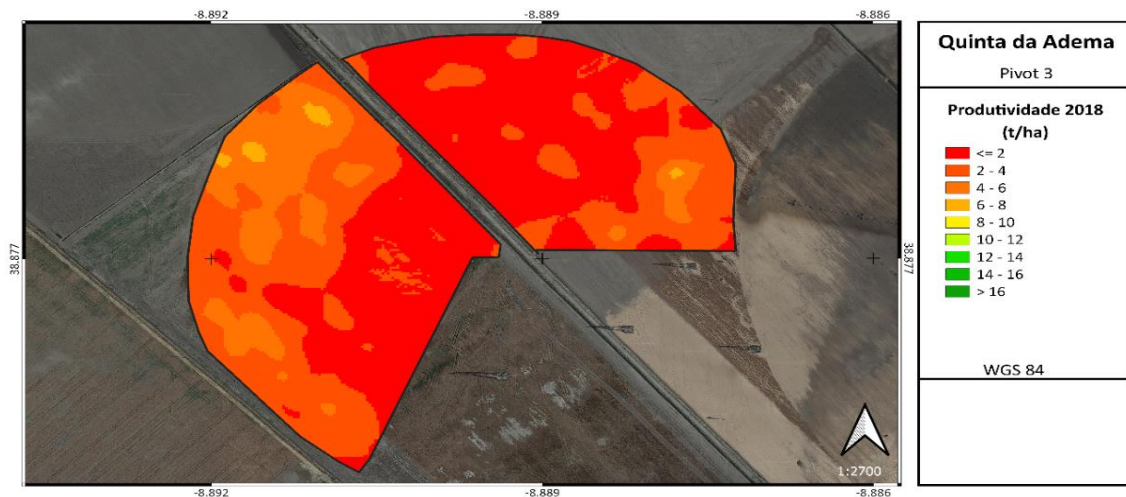


Figura 42: Carta de produtividade do pivot 3.

Tabela 11: Estatística descritiva da produtividade do pivot 3.

Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
2,6	1,1	44,5	1,2	6,9	5,8

Área da parcela: 9,8 ha.

❖ Pivot 4

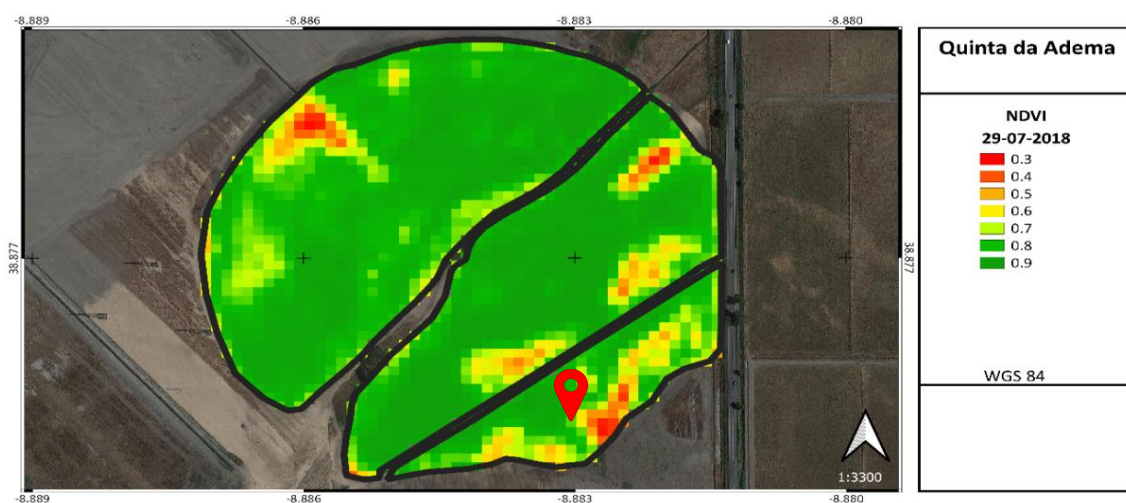


Figura 43: Carta de NDVI do pivot 4.

Tabela 12: Estatística descritiva do NDVI do pivot 4.

Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
0,81	0,10	12,3	0,32	0,92	0,60

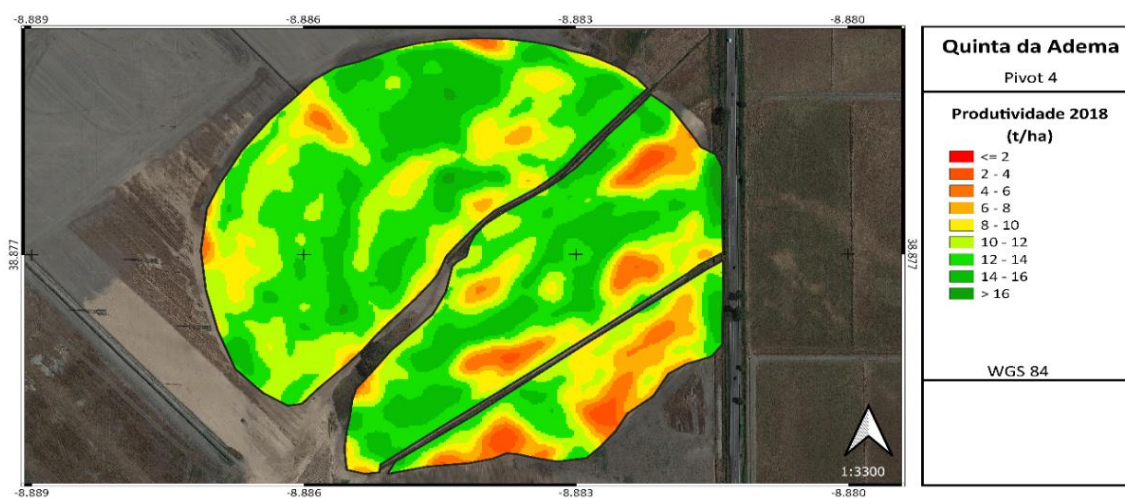


Figura 44: Carta de produtividade do pivot 4.

Tabela 13: Estatística descritiva da produtividade do pivot 4.

Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
11,6	2,7	23,2	2,4	18,0	15,6

Área da parcela: 18,8 ha.

❖ Pivot 5

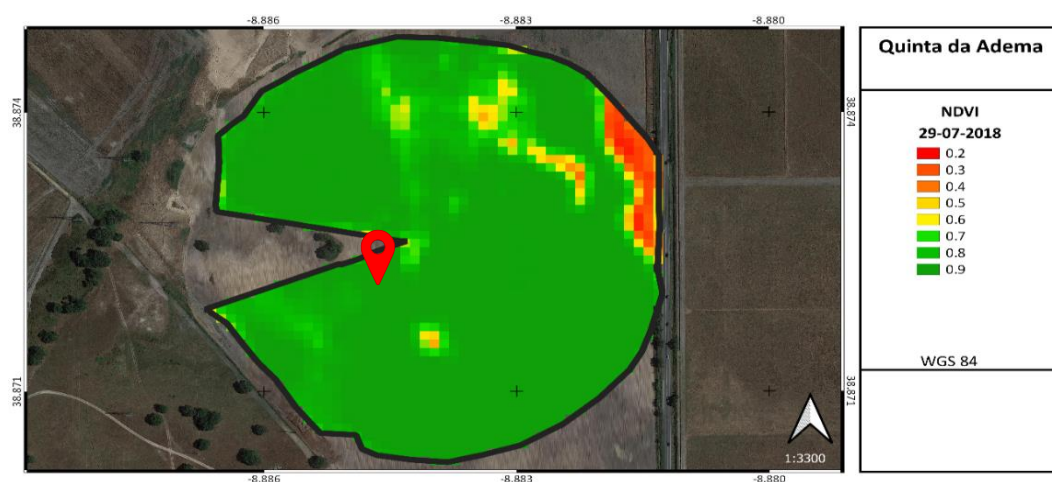


Figura 45: Carta de NDVI do pivot 5.

Tabela 14: Estatística descritiva do NDVI do pivot 5.

Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
0,86	0,12	14,0	0,24	0,94	0,70

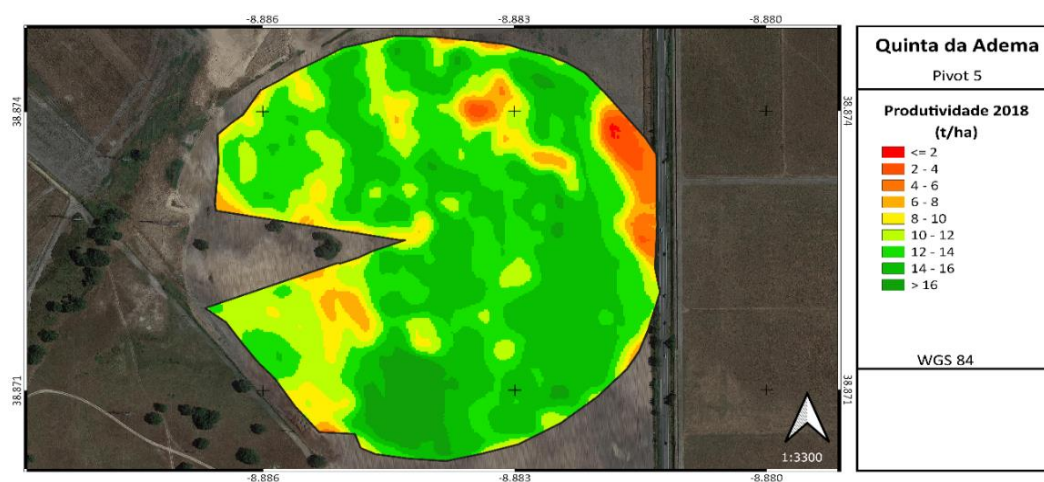


Figura 46: Carta de produtividade do pivot 5.

Tabela 15: Estatística descritiva da produtividade do pivot 5.

Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
12,8	2,7	21,4	1,6	19,4	17,9

Área da parcela: 17,9 ha.

Discussão da estatística descritiva das parcelas regadas por pivot

A parcela (Pivot 5) que apresentou maior índice de vegetação (0,86 – tabela 14) em termos médios foi a que apresentou maior produtividade (12,8 t/ha – tabela 15) e a que registou o menor valor (0,35 – tabela 10), foi a parcela que teve menor produtividade (2,6 t/ha – tabela 11), o Pivot 3.

As parcelas mais produtivas, o Pivot 5, seguido do Pivot 4, apresentaram os valores dos parâmetros, máximo e mínimo de NDVI, mais elevados, como se observam pelas tabelas 12 e 14.

O desvio-padrão do NDVI foi maior no Pivot 2 (0,20 – tabela 8) e o desvio-padrão da produtividade oscilou entre 2,6 e 2,8 t/ha (com exceção do Pivot 3), justificando a forte homogeneidade da produtividade.

Os valores do coeficiente de variação, tanto de NDVI como de Produtividade verificaram-se mais elevados nos pivots 2 e 3 (tabelas 8 a 11), apontando para uma variabilidade espacial acentuada dentro das duas parcelas. No entanto, não são as parcelas que apresentam os maiores valores de amplitude, quer para o NDVI quer para a Produtividade. Nestas duas situações, embora o elevado coeficiente de variação que se traduz numa ampla variedade espacial, a produtividade manifestou-se baixa.

Em contrapartida, os menores valores de coeficiente de variação, encontraram-se nas parcelas Pivot 4 e 5 (tabelas 12 a 15), as que registaram maior média de produção e também maiores valores no parâmetro de máximo de produção. No entanto, estas parcelas apresentaram valores baixos no parâmetro do mínimo de produção, mas como são zonas de menor área (em comparação com as zonas do Pivot 3 por exemplo), têm menor impacto na produtividade.

Pode-se afirmar que não são as amplitudes de NDVI que originam a variabilidade espacial. Como prova, existem as situações do Pivot 3 e Pivot 4. Possuem a mesma amplitude, mas a variabilidade espacial é bastante menor, na parcela bem mais produtiva (Pivot 4 – cerca de 4,5 vezes mais produtiva que o Pivot 3).

É também possível dizer que a variabilidade espacial da produtividade não é explicada pela amplitude. Esta afirmação é fundamentada pela comparação entre o Pivot 3 e o Pivot 5. O pivot 3 apresenta o maior valor de coeficiente de variação e a menor amplitude (44,5% e 5,8 t/ha, respetivamente, tabela 11), enquanto que o Pivot 5 apresenta o segundo menor valor de coeficiente de variação e a maior amplitude de produtividade (21,4% e 17,9 t/ha, respetivamente, tabela 15).

Com esta análise, demonstra-se a relação entre as cartas de NDVI e as cartas de produtividade, através da análise estatística descritiva das parcelas, bem como através da observação das imagens. São mais claras as observações visuais das imagens nos pivots 1, 4 e 5, em detrimento das parcelas pivot 2 e 3, com especial destaque para o Pivot 3.

4.5 Estatística descritiva, cartas de NDVI e cartas de produtividade (canhões de rega)

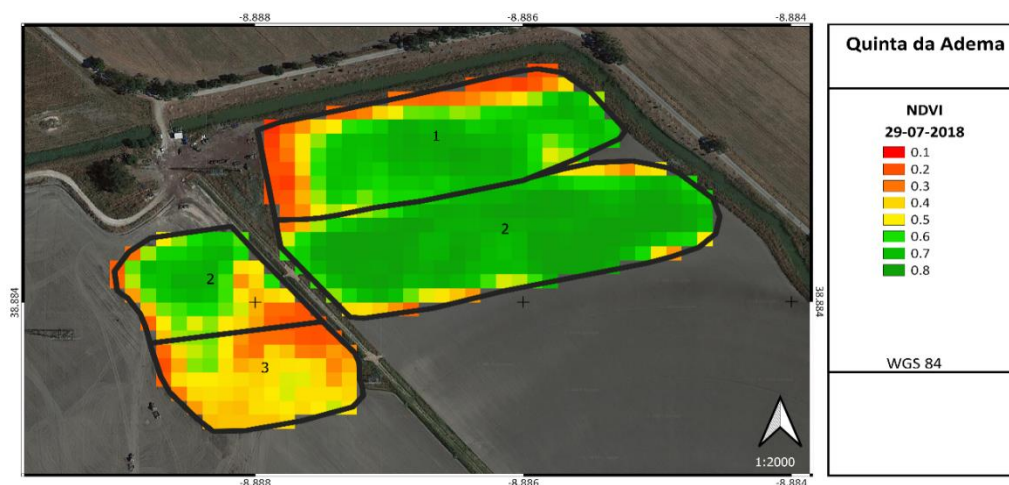


Figura 47: Carta de NDVI dos canhões de rega.

Tabela 16: Estatística descritiva do NDVI dos canhões de rega.

Canhão	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude
1	0,56	0,19	34,0	0,16	0,79	0,63
2	0,70	0,13	18,6	0,26	0,84	0,58
3	0,40	0,09	22,5	0,20	0,56	0,37

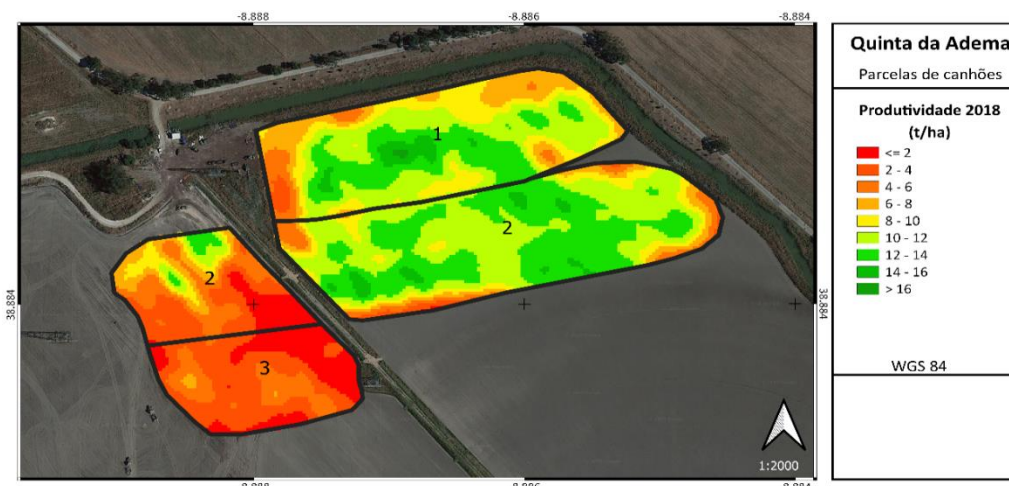


Figura 48: Carta de produtividade dos canhões de rega.

Tabela 17: Estatística descritiva da produtividade dos canhões de rega.

Canhão	Média (t/ha)	Desvio Padrão (t/ha)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Amplitude (t/ha)
1	10,2	2,6	25,7	2,6	16,5	13,8
2	9,5	3,7	39,5	0,1	15,7	15,6
3	2,8	1,4	49,0	0,1	6,5	6,4

Canhão 1: 1,6 ha; Canhão 2: 2,6 ha; Canhão 3: 0,8 ha.

Discussão da estatística descritiva das parcelas regadas por canhões de rega

Neste conjunto de parcelas com o sistema de rega por canhão móvel, a média de NDVI mais elevada observou-se no canhão 2 (0,7 – tabela 16), contudo a produtividade não foi a mais elevada (9,5 t/ha – tabela 17), fruto de uma zona da parcela apresentar diversos valores de NDVI muito baixos (entre 2 e 4).

Do ponto de vista da análise das cartas acima apresentadas, verifica-se uma diferença bastante grande entre o canhão 1 e canhão 2 (zona da direita) comparado com o canhão 2 (zona da esquerda) e o canhão 3, sendo comuns as zonas mais produtivas com as zonas de maior valor de NDVI, e vice-versa. De salientar, que existe uma subdivisão (entre a zona de maior e a zona de menor produção) que, é estabelecida por uma barreira física (caminho de acesso ao pivot 2) em tempos, foram canteiros de produção de arroz.

O desvio-padrão do NDVI indicou que os pontos dos dados recolhidos se encontram relativamente próximos da média. Já na produtividade, o valor mais discrepante foi de 3,7 t/ha – tabela 17, no canhão 2, como se comprova visualmente na figura 49 (pelo facto deste canhão ser formado por duas zonas, como acima explicado).

Embora o valor mínimo de NDVI não tenha sido o mais baixo (0,16 – tabela 16), no canhão 3, a produtividade apresentou o menor valor médio (2,8 t/ha – tabela 17) e uma amplitude de valores reduzida (cerca de 6,4 t/ha – tabela 17). O canhão 3 revelou-se francamente pouco produtivo.

No canhão 1, apresentou-se a parcela com maior produtividade (10,2 t/ha – tabela 17) neste sistema de rega, sendo a única capaz de gerar lucro ao agricultor (tabela 25), tendo em conta que o limiar de rendibilidade é 9,9 t/ha. Em relação à análise do NDVI, este destaca-se pelo maior coeficiente de variação (34% - tabela 16). Este facto observado na carta de NDVI (figura 48 – setor de rega 1), é explicado devido, entre outros fatores, à eficiência da rega nesta parcela. A zona caracterizou-se por ser bastante ventosa (especialmente ao final do dia), soprando o vento de Norte para Sul, fazendo com que a distribuição de água na parcela não fosse homogénea, aparecendo problemas de falta de água na zona Norte da parcela.

O canhão 2, caracterizou-se pela melhor média de NDVI (0,7 – tabela 16), sendo que a produtividade acabou por não ser a melhor (9,5 t/ha – tabela 17). Apresentou o menor coeficiente de variação de NDVI (18,6 % - tabela 16), o que significa uma maior homogeneidade espacial comparado com os outros setores de canhão. Contudo, apresenta um dos maiores coeficientes de variação na produtividade, facto que nos leva a concluir que houve problemas após a data de 29 de julho.

A variedade espacial na produtividade deste sistema é perfeitamente visível, através da figura 49.

A observação visual no campo, permitiu verificar nas zonas de menor produção (canhão 2 – lado esquerdo e canhão 3), problemas ao nível de infiltração da água no solo, encharcamentos e quando o nível de água do solo baixava, apareciam manchas de sal nestas zonas à superfície.

Estes problemas enumerados, comprovados pela observação das cartas de NDVI, originaram um deficiente desenvolvimento cultural, com plantas baixas e de pouco vigor, com reflexo nas produtividades finais.

4.6 Análise de correlação entre cartas de NDVI e cartas de produtividade

4.6.1. Correlação entre o valor médio de NDVI e o valor médio de produtividade

Tabela 18: Valores médios de NDVI e valores médios de produtividade, por parcela.

		29-07-2018	-
		Média NDVI	Média Produtividade (t/ha)
Canhão	1	0,56	10,21
	2	0,70	9,46
	3	0,40	2,83
Pivot	1	0,73	9,48
	2	0,57	5,75
	3	0,35	2,57
	4	0,81	11,62
	5	0,86	12,76

Tabela 19: Correlação final dos valores médios ($\alpha=0,05$).

	NDVI	Produtividade
NDVI	1	
Produtividade	0,933	1

Os valores de NDVI e de Produtividade, em termos médios, apresentam uma correlação na ordem dos 93%. Este valor elevado, significa que a data escolhida para análise é muito interessante. Em termos médios e para um nível de significância de 5%, cerca de 93 % da variabilidade dos resultados obtidos de Produtividade nas parcelas, são possíveis de serem explicados, precocemente, na data de análise do NDVI (29-07-2018).

4.6.2. Correlação entre os valores das cartas de NDVI e os valores das cartas de produtividade por parcela

Tabela 20: Valores de correlação por parcela ($\alpha=0,05$).

Parcela	R
Pivot 1	0,834
Pivot 2	0,755
Pivot 3	0,653
Pivot 4	0,675
Pivot 5	0,722
Canhão 1	0,783
Canhão 2	0,783
Canhão 3	0,783

Extraíu-se os valores, pixel a pixel, de NDVI e de Produtividade de cada carta, obtendo-se uma extensa tabela para cada parcela. De seguida, procedeu-se à análise estatística de correlação entre os dois fatores, para um nível de significância de 5%.

A partir dos dados da tabela acima, podemos concluir que as correlações existentes entre os valores do NDVI e os valores da Produtividade são bastante altas.

Esta análise que se apresenta, permite avaliar a variabilidade espacial da produtividade, bem como o potencial produtivo de cada parcela, em função da data precoce de NDVI escolhida (29/07/2018). Valores de correlação elevados demonstram, que a produtividade da parcela é comprometida logo antes do início da fase crítica da floração. Em concreto, é possível afirmar que o NDVI é um excelente preditor das produtividades finais alcançadas, na exploração Quinta da Adema.

Na ótica do gestor agrícola, pode-se alegar que, com estes valores de correlação acima apresentados e tendo também em conta os resultados obtidos no capítulo da gestão da rega e no capítulo dos resultados económicos da exploração, as principais medidas a tomar na exploração devem ser aplicadas até à fase da floração cultural.

Este facto indicia que durante a fase reprodutiva não ocorreram problemas significativos na cultura. Caso contrário os valores das correlações seriam mais baixos.

4.7 Eficiência do uso de nutrientes (N-P-K)

Utilizou-se segundo Paes (2011) para comparação das eficiências do desempenho dos três nutrientes em estudo, a relação simplificada para produzir 1 tonelada de milho-grão: 21 unidades de N, 14 unidades de P e 17 unidades de K.

A eficiência da aplicação de nutrientes ao solo, apresentou uma disparidade de resultados, nos três nutrientes estudados como se observa nas três tabelas seguintes:

Tabela 21: Eficiência do uso de N.

	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3	Pivot 4	Pivot 5	Canhão 1	Canhão 2	Canhão 3
Unidades de N aplicadas	255	255	296	334	360	255	255	255
Produtividade (t/ha)	9,5	5,8	2,6	11,6	12,8	10,2	9,5	2,8
Eficiência (unid/t)	26,8	44,0	113,8	28,8	28,1	25,0	26,8	91,1

O azoto aplicado variou entre as 255 e as 360 unidades, verificando-se maior eficiência de aplicação nas parcelas mais produtivas e uma discrepância em relação às parcelas menos produtivas (P2 e principalmente no P3 e C3).

Verifica-se que a disponibilidade em azoto não foi em nenhuma situação fator limitante para a produção, pois não existe nenhum valor abaixo de 21 unidades (relação simplificada).

No entanto, a eficiência de aplicação, indica que se aplicaram quantidades bastante acima do valor recomendado, pelo que se deve ajustar a fertilização de modo a evitar tais perdas por excesso.

Tabela 22: Eficiência do uso de P.

	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3	Pivot 4	Pivot 5	Canhão 1	Canhão 2	Canhão 3
Unidades de P	121	121	67	121	130	121	121	121
Produtividade (t/ha)	9,5	5,8	2,6	11,6	12,8	10,2	9,5	2,8
Eficiência (unid/t)	12,7	20,9	25,8	10,4	10,2	11,9	12,7	43,2

A aplicação de fósforo variou entre as 67-130 unidades. Curiosamente a distribuição destes valores foi feita entre a parcela menos produtiva e a mais produtiva, respetivamente. Nas restantes seis parcelas a aplicação foi comum em 121 unidades.

Em termos de eficiência verificou-se um desajuste na aplicação deste nutriente com cinco parcelas abaixo do valor da relação simplificada, demonstrando que poderá ter sido fator limitante à produção.

Os valores acima do recomendado, curiosamente localizam-se nas parcelas de menor produtividade, levando também a concluir que deve ser ajustada a aplicação, de forma a reduzir estes excessos.

Tabela 23: Eficiência de uso de K.

	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3	Pivot 4	Pivot 5	Canhão 1	Canhão 2	Canhão 3
Unidades de K	78	78	71	78	105	78	78	78
Produtividade (Kg/ha)	9,5	5,8	2,6	11,6	12,8	10,2	9,5	2,8
Eficiência (unid/t)	8,2	13,4	27,3	6,7	8,2	7,6	8,2	27,9

A análise do Potássio, demonstrou que a aplicação do nutriente oscilou entre as 71 e as 105 unidades. Seguiu entre termos de distribuição o mesmo esquema da aplicação do fósforo (com alteração na taxa de aplicação no P3 e P5).

Este demonstrou ser o pior cenário, com seis parcelas abaixo do valor recomendado na relação simplificada (17 unidades de aplicação de K), onde cinco das parcelas apresentam menos de metade do valor. Pode-se afirmar que nestas situações este nutriente tenha sido fator limitante à produção.

Nas duas parcelas onde se observam valores superiores ao recomendado (o excesso é cerca do dobro), são precisamente as parcelas menos produtivas nos respectivos sistemas em estudo.

A fertilização em potássio, deve ser corrigida e ajustada tendo em conta estes dados acima.

4.8 Resultados económicos e fundiários da exploração

Na tabela seguinte apresenta-se discriminada a conta de cultura aplicada a todas as parcelas da exploração e o resultado económico alcançado nas diversas parcelas. A análise é feita em euros por hectare (€/ha).

Tabela 24: Conta de cultura da exploração agrícola.

Tabela de custos	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3	Pivot 4	Pivot 5	Canhão 1	Canhão 2	Canhão 3
Distribuição de Adubo	12,00 €	12,00 €	12,00 €	12,00 €	12,00 €	12,00 €	12,00 €	12,00 €
Gradagem	105,00 €	105,00 €	140,00 €	105,00 €	105,00 €	105,00 €	105,00 €	105,00 €
Chisel	52,00 €	52,00 €	52,00 €	52,00 €	52,00 €	52,00 €	52,00 €	52,00 €
Rototerra	57,00 €	57,00 €	57,00 €	57,00 €	57,00 €	57,00 €	57,00 €	57,00 €
Pulverizador	20,00 €	20,00 €	20,00 €	20,00 €	20,00 €	20,00 €	20,00 €	20,00 €
Sementeira	44,00 €	44,00 €	44,00 €	44,00 €	44,00 €	44,00 €	44,00 €	44,00 €
Sacha com distribuição de adubo	33,00 €	33,00 €	33,00 €	33,00 €	33,00 €	33,00 €	33,00 €	33,00 €
Preparação da Terra	323,00 €	323,00 €	358,00 €	323,00 €	323,00 €	323,00 €	323,00 €	323,00 €
Eletricidade	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €
Assistência do pivot/canhão	46,79 €	46,79 €	46,79 €	46,79 €	46,79 €	- €	- €	- €
Gasóleo Trator	7,48 €	7,48 €	7,48 €	7,48 €	7,48 €	7,48 €	7,48 €	7,48 €
Revisão do Pivot	40,09 €	22,16 €	44,45 €	22,23 €	23,90 €	- €	- €	- €
Mão de obra	27,93 €	27,93 €	27,93 €	27,93 €	27,93 €	27,93 €	27,93 €	27,93 €
Equipamento	362,29 €	344,36 €	366,65 €	344,43 €	346,10 €	275,41 €	275,41 €	275,41 €
Adubo	385,54 €	385,54 €	490,65 €	478,34 €	542,50 €	385,54 €	385,54 €	385,54 €
Semente	243,47 €	220,85 €	196,86 €	205,07 €	227,59 €	220,85 €	220,85 €	220,85 €
Agroquímicos	57,19 €	99,19 €	99,19 €	57,19 €	57,19 €	99,19 €	99,19 €	99,19 €
Debulha	145,00 €	145,00 €	145,00 €	145,00 €	145,00 €	145,00 €	145,00 €	145,00 €
Custo de secagem (€/ton)	14,00 €	14,00 €	14,00 €	14,00 €	14,00 €	14,00 €	14,00 €	14,00 €
Total custo de secagem	148,93 €	88,25 €	40,66 €	181,40 €	204,07 €	159,60 €	148,64 €	43,81 €
Transporte de milho verde (€/ton)	3,00 €	3,00 €	3,00 €	3,00 €	3,00 €	3,00 €	3,00 €	3,00 €
Total de custo de transporte	31,91 €	18,91 €	8,71 €	38,87 €	43,73 €	34,20 €	31,85 €	9,39 €
Custo total	1 697,33 €	1 625,11 €	1 705,72 €	1 773,29 €	1 889,18 €	1 642,79 €	1 629,48 €	1 502,18 €

Tabela de receitas	Pivot 1	Pivot 2	Pivot 3	Pivot 4	Pivot 5	Canhão 1	Canhão 2	Canhão 3
Humidade	23,4	23,5	25	23,5	24	23,5	23,5	23,5
Área (ha)	15	23,4	9,8	18,8	17,9	1,6	2,6	0,8
Produção seca (kg/ha)	9475	5630	2567	11617	13015	10200	9500	2800
Produção verde (kg/ha)	10638	6304	2904	12957	14576	11400	10617	3129
Preço Grão (€/ton)	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €	170,00 €
Receita Bruta	1 610,72 €	957,10 €	436,39 €	1 974,89 €	2 212,52 €	1 734,00 €	1 615,00 €	476,00 €

Resultado empresarial e fundiário (REF)/hectare	- 86,6 €	- 668,0 €	- 1 269,3 €	201,6 €	323,3 €	91,2 €	- 14,5 €	- 1 026,2 €
REF/Parcela	- 1 307,9 €	- 15 631,3 €	- 12 439,4 €	3 790,1 €	5 787,9 €	145,9 €	- 37,6 €	- 820,9 €
REF/Exploração	-21 604,80 €							

A partir dos dados do quadro anterior podemos afirmar que o REF por hectare variou entre os -1026,2 € e os 323,3 €. Estes resultados são fundamentalmente explicados pela variação da produtividade, dado que o custo total foi relativamente homogéneo em todas as situações.

De seguida, apresenta-se a tabela 25, de modo a facilitar a consulta dos parâmetros principais de área (ha), a produtividade (t/ha), o tipo de solo predominante da parcela, os custos e as receitas totais (€) e o REF de cada parcela.

Tabela 25: Caracterização económica e fundiária de cada parcela.

Sistema	Parcela Nº	Área da parcela (ha)	Produtividade (t/ha)	Tipo de solo predominante	Custo total da parcela (€)	Custo unitário da parcela (€/ha)	Receita Bruta total da parcela (€)	Receita Bruta unitária da parcela (€/ha)	Resultado económico e fundiário por parcela (€/ha)
Pivot	1	15	9,5	Asac	25 630	1709	24 322	1610	-87
	2	23,4	5,8	Asac	38 028	1625	22 396	957	-668
	3	9,8	2,6	Assac	16 716	1706	4 277	436	-1 269
	4	18,8	11,6	Assac/Rg	33 338	1773	37 128	1975	202
	5	17,9	12,8	Rg	33 816	1889	39 604	2213	323
Canhão	1	1,6	10,2	Asac	2 629	1643	2 774	1734	91
	2	2,6	9,5	Asac	4 237	1630	4 199	1615	-15
	3	0,8	2,8	Asac	1 202	1503	381	476	-1 026

A estimativa do limiar de rendibilidade de produção na Quinta da Adema ronda, em termos médios as 9,9 t/ha.

Perante este valor podemos afirmar que apenas nos pivots 4 e 5 e no canhão 1 alcançamos resultados económicos positivos. Em todas as outras situações o resultado económico foi negativo (prejuízo).

Em resultado de tudo isto a Quinta da Adema registou um resultado económico global de- 21 604,80 €.

5. Conclusões

❖ Avaliação do calendário de rega (modelo ISAREG)

No sistema de rega por pivot verificou-se que o problema principal (excluindo questões técnicas ao longo do ciclo, como atascamentos), foi a heterogeneidade espacial dos solos dentro da mesma parcela. A sugestão para melhorar a eficiência de rega e reduzir gastos desnecessários de água passa por ser possível regar com taxa variável.

Deve-se dividir cada pivot em “setores” e aplicar as dotações necessárias a cada situação. Este é um princípio utilizado em Agricultura de Precisão, no entanto envolve um custo de investimento em bombas, válvulas e todos os mecanismos que regulam a distribuição da água, além de eventuais problemas de especialização tecnológica.

Uma solução menos avançada, poderá ser a criação de setores de rega em cada pivot, (cruzando a informação obtida da avaliação da rega com as cartas de produtividade) e adaptar as dotações consoante o setor de rega (por ordem manual no painel de controlo do pivot). Aconselha-se em concreto para o pivot 1 e para o pivot 2, dividindo-se a parcela em dois e em três setores de rega, respetivamente. Este processo, não requer um custo adicional, mas por outro lado necessita de maior programação e acompanhamento do operador do sistema de rega, ao longo de toda a campanha.

Para o sistema de rega por canhão, a sugestão passa por optar por um calendário de rega que permita a redução das dotações de água aplicada e do intervalo de tempo entre regas. Obviamente, que isto corresponderia ao aumento do número total de regas. Outro aspeto importante prende-se com a busca de um equilíbrio entre a intensidade da precipitação de rega e a taxa de infiltração da água no solo, de modo a evitar situações de encharcamento e escoamento à superfície.

❖ Cartas de NDVI e cartas de produtividade

A estatística descritiva permitiu quantificar diversos parâmetros, com especial interesse a variabilidade espacial e a amplitude dos dados. A observação das cartas de NDVI motivou a operação de abertura de perfis de solo, com o intuito de interpretar *in loco*, a causa de determinados valores baixos do índice de vegetação. Posteriormente, as cartas de produtividade vieram dar a confirmação dos cenários culturais apresentados antes da floração (como se comprova pelos altos valores de correlação).

Desta feita, sobressaem algumas ideias para as futuras campanhas de milho na exploração, como a interação de forma diferente dentro das parcelas, de acordo com a consulta da variabilidade espacial das cartas de NDVI, recorrer novamente a uma data de pré-floração para criação de futuras cartas de NDVI, solucionar os problemas observados nos perfis de solo devido à sua influência na cultura desde a sementeira e consulta das cartas de produtividade em função do limiar de rendibilidade da exploração (apostando em zonas de maior potencial produtivo e talvez, eliminando cenários como o Pivot 3).

De seguida, enumeram-se algumas sugestões para melhorar estas zonas com menores valores de NDVI e que consequentemente, se obtiveram menores valores de produtividade, tais como:

Efetuar uma ripagem/subsolagem, em zonas compactadas (Pivot 1, Pivot 2 e Pivot 3); promover a criação de um dreno toupeira, nas zonas mal drenadas (em especial nos Pivot 1; Pivot 2; Pivot 3 e Canhão 3), pois os tipos de solos Asac e Assac, são característicos de apresentarem uma textura pesada, que na exploração resultou na dificuldade de infiltração de água no solo e consequentemente, problemas de drenagem.

Apostar em culturas que melhorem a estrutura do solo, através da abertura de canais biológicos, com consequências no aumento da taxa de infiltração de água e descompactação do solo. Definir com base nos mapas, um potencial produtivo para as parcelas e ajustar os fatores de produção.

Em concreto no canhão 3, cruzando o resultado económico da parcela (-820€) com o facto de não exceder 1 ha, pode-se aconselhar a não produzir mais milho grão até corrigir os problemas associados desta parcela, pois encontra-se muito longe do limar de rendibilidade.

❖ **Eficiência dos nutrientes (N-P-K)**

Aconselha-se a ajustar as quantidades de aplicação do fósforo e do potássio, pois existem diversas parcelas onde poderão estar a ser fator limitante da produção. Ainda assim, nas parcelas onde não se verifica serem fator limitante, estão a ser aplicadas quantidades em excesso, pelo que se recomenda fazer também um ajuste da aplicação.

No caso do azoto, não foi fator limitante em nenhuma situação, porém em todas as situações verificou-se um desajuste de aplicação, revelando nalguns casos grandes perdas por excesso.

Portanto, sugere-se que se façam nas próximas campanhas, análises de solos e análises da condutividade elétrica dos solos para melhor conhecimento dos solos em produção. Outra solução poderá ser a aplicação dos adubos à taxa variável, pelo cruzamento da informação proveniente das cartas de NDVI e de produtividade, de modo a melhorar a eficiência de aplicação dos três macronutrientes e consequentemente, reduzir custos de produção.

Na ótica de uma melhor gestão do agricultor, a informação apresentada neste trabalho teve a finalidade de identificar o conjunto de problemas que limitam a produção, a sua descrição e a possibilidade de sugerir medidas, para que num futuro próximo a exploração, Quinta da Adema, se torne rentável e agronomicamente evoluída.

6. Referências bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Agrotec. 2012. *Empresas que são futuro. Gestão e Rigor na Cultura do Milho*. Entrevista a João Coimbra.
- ANPROMIS. 2018. <http://www.anpromis.pt/> - institucional da Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo (consultado a 30/11/2018 e 25/03/2019).
- Avillez, F. 2017. *Produtividade, crescimento e rendimento agrícolas em Portugal na última década*. Maio de 2017.
- Barreiros. L.S. 2018. *A cultura do milho*. Artigo publicado na edição impressa do Suplemento Grandes Culturas 10. Agrotec: revista técnico-científica agrícola, Set (2018).
- Barros J.F.C. & Calado J.G. 2014. *A cultura do milho*. Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuários, Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral. Universidade de Évora. Escola de ciências e tecnologia – Departamento de Fitotecnia. Évora 2014.
- Braga, R. (2008). *Agricultura de Precisão: Introdução. Objectivos. Benefícios*. Material de apoio da unidade curricular Viticultura Avançada (ISA), Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre.
- Braga, R., Pinto, P. A. 2011. *Agricultura de Precisão, adoção e principais obstáculos*. Agrotec. Dezembro: 84-89.
- Brito Ramos, T., Gonçalves, M., Martins, J. e Santos Pereira, L. 2016. *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. Oeiras: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.
- Bennetzen, J e Hake, S. (Eds.). 2008. *Handbook of Maize. Its biology*. Springer.
- Bergamaschi, H., Dalmago, G.A. Bergonci, J.I., Bianchi, C.A.M., Müller, A.G., Comiran, F., Heckler, B.M.M. (2004). *Water supply in the critical period of maize and the grain production*. Vol.39. setembro de 2004.
- Bernardi, J.V.E. e LANDIM, P.M.B. 2002. *Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados*. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10.

- Caldeira C. 2018. *Cotações – Cereais – Informação Semanal – 5 a 11 novembro 2018*. Agricultura e Mar Actual. GPP (2017). Contas económicas da Agricultura. Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral. Dezembro de 2017.
- Cardoso, J. V. 1965. *Os Solos de Portugal, Sua classificação, Caracterização e Génese, A Sul do Rio Tejo*. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa.
- Cardoso, J.C. 1974. *A classificação dos solos de Portugal – nova versão*. Boletim de solos do S.R.O.A.
- Carvalho. L., Rios.G., Miranda.W., Neto.P., Artigo de Revisão: *Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa*. www.agro.ufg.br/pat-Pesq.Agropec.Trop. Goiania V.41, N°3, pp 456-465. Jul/Set 2011.
- Coelho, J. C., Silva, L. M., Tristany, M., Neto, M. C., Pinto, P. A., 2004. *Agricultura de Precisão*. Prefácio, Lisboa, 106pp.
- Coimbra, J. 2018. *Floração do milho*. Milho Amarelo, publicado a 07/08/2018.
- Deere J., Site da marca consultado a 04/06/2019. Acessórios para trator: <http://www.agriexpo.online/pt/prod/john-deere/product-169419-2710.html>.
- DGADR 2010. *Produção integrada das culturas de milho e sorgo*. Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR). Lisboa.
- DGADR 2018. *Regadio e Aproveitamentos hidroagrícolas*. Direcção-Geral Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR). Lisboa.
- DGT 2017. *Breve descrição dos Satélites Sentinel*. Direcção Geral do Território. Lisboa. Consultado a 02/05/2019.
- Dias, S. D., 2009. *Segmentação da vindima com base na observação de imagens multiespectrais aéreas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Doorenbos, J. e Kassam, A.H. 1986. *Yield response to water*. FAO, Irrigation and drainage, 33. Roma.
- FAO. 2016. *Top 10 Country Production of Maize*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- FAO. 2018. *How to Feed the World in 2050*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- GPP. 2018. *Estratégia Nacional para a Promoção da Produção de Cereais (ENPPC)*. Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral. Jan 2018.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B., Louis, J. 2002. *Optical remote sensing applications in viticulture - a review*.

- IFAP. 2018 *Indicadores de Campanha, Regime de Pagamentos Base*. Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas. Outubro, 2018. Lisboa.
- INE. 2017. *Estatísticas Agrícolas*. Instituto Nacional de Estatísticas. Edição 2018.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Lobos Risques, A.C.M.V. 2015. *Avaliação do aproveitamento da palha do milho (Zea mays L.) para bioenergia, nos sistemas de produção do Vale do Tejo*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Agricultura Sustentável. IPS. ESA. Santarém 2015.
- Oliveira, I. 2011. *Técnicas de Regadio*. Vol. I e II, 2ª Edição, Lisboa.
- Otegui, M e Slafer G. 2000. *Physiological bases for maize improvement*. Haworth Press. pp. 217.
- Paes, V.M. 2011. *Análise da variabilidade espaço-temporal da produtividade de milho numa parcela na região da Golegã*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Agronómica. ISA.UTL. Lisboa 2011.
- Pattenaude, G., Milne, R., Dawson, T., 2005. *Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: reporting to the Kyoto Protocol*. Environmental Science & Policy.
- Penteado, M. 2014. *Utilização de imagens de alta resolução de Deteção Remota na gestão do montado de sobro*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Agronómica. ISA.UTL. Lisboa 2014.
- Pereira, L.S. 2001. *Desempenhos de sistemas de rega. Igneria del Agua*. Vol 8 Nº3 Sptiembre, pp 329-330.
- Pereira, L.S. 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publ. Europa-América, Lisboa, 313 p.
- Pereira, L.S. e Trout, T.J. 1999. *Irrigation methods*. In: H.N. van Lier, L.S. Pereira, e F.R. Steiner (eds.) CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol. I: Land and Water Engineering, ASAE, St. Joseph, MI, pp. 297-379.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A. 2002. *Irrigation management under water scarcity. Agric. Water Manage.* 57: 175-206.
- Rodrigues, G.C., da Silva, F.G., Pereira, L.S. 2010. *Análise económica e da produtividade da água em rega em condições de seca: Aplicação às culturas de milho e trigo no Regadio da Vigia*. In: Pereira, LS, Mexia, JT, Pires, CA (Eds) *Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*. Edições Colibri e CEER, pp. 321-344.

- Rodrigues, G.C., Paredes.P., Rosa.R.D., Silva.F.G., Pereira.L.S. 2011. *Necessidades de água e produtividade económica da rega de milho em condições de escassez*. VI Congresso ibérico de Agro-engenharia. Universidade de Évora, Portugal.
- Saraiva. K., Bezerra. F., Souza.F., Neto.L. 2013. *Aplicação do "ISAREG" no manejo da irrigação na cultura da melancia no Baixo Acaraú, Ceará*. *Revista Ciência Agronômica*. V.44. Nº1, pp 53-60, Jan-Mar (2013).
- Sousa, A.M, Silva, J.R. (2011). *Fundamentos Teóricos de Detecção Remota*. Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora.
- Swinton, S.M., Lowenberg-DeBoer, J. (2001). *Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why?*.
- Teixeira J.L. 2018. *ISAREG – Manual do Utilizador*. Consultado em 08/03/2019. <http://home.isa.utl.pt/~jlteixeira/index.htm>.
- Teixeira J.L., Pereira L.S. 1992. *ISAREG, an irrigation scheduling model*. *ICID Bulletin*, 41(2): 29-48.
- Thylen, L., Jurschik, P. e Murphy, D. P. L. 1997. *Improving the quality of yield data*. In: First European Conference on Precision Agriculture, Vol.II: Technology, IT and Management, edited by J. V. Stafford (UK).
- USDA. 2019. *Maize price*. United States Department of Agriculture, Worl Bank. Consultado em 22 de janeiro em: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=corn&months=240>.
- Valverde.P., Serralheiro.R., Carvalho.M., Shahidian.S., Rodrigues.C. 2014. *Efeitos das alterações climáticas nas necessidades úteis de rega na bacia do Guadiana*. *Revista Recursos Hídricos*. Vol.35 Nº1 de maio de 2014.
- Viña,A., Gitelson,A.A., Rundquist D.C., Keydan G., Leavitt B., Schepers J. (2004). *Monitoring Maize (Zea mays L.) Phenology with Remote Sensing*.
- Whelan, B., Taylor J. (2013) *Precision agriculture for grain production systems*.

Anexos

Anexo I-A: Dados meteorológicos filtrados e agrupados.

Data	Radiacao Solar[W/m²]	Velocidade Vento Med[m/s]	Pluviometria[mm]	Temperatura do Ar[°C]Máx	Temperatura do Ar [°C] Min	Humidade do Ar[%] Máx	Humidade do Ar[%] Min
2018-5-15	301,2	3,0	0,0	31,4	11,4	88,3	24,4
2018-5-16	210,8	2,0	0,0	33,6	12,9	81,2	26,6
2018-5-17	290,2	1,4	0,0	26,7	11	87,9	46,5
2018-5-18	205,0	1,0	0,0	30,9	12,3	87,8	31,9
2018-5-19	299,6	1,7	0,0	28,5	13,9	87,8	41,7
2018-5-20	244,2	1,9	0,0	27,4	12,1	87,9	40,5
2018-5-21	284,3	1,3	0,0	24,6	14,4	84,9	47,4
2018-5-22	137,4	1,7	0,0	28,4	11,9	87,3	42,8
2018-5-23	235,0	1,3	0,0	19,2	15,2	88,2	68,2
2018-5-24	54,0	0,8	13,6	25,6	12,2	88,4	49,3
2018-5-25	251,1	1,2	2,4	15,8	12,5	87,2	60,5
2018-5-26	0,0	0,1	0,0	23	14,9	88,3	60,3
2018-5-27	254,5	2,8	0,0	21	14,4	85,8	60
2018-5-28	206,3	3,3	0,0	18,8	14,7	87,5	70,5
2018-5-29	82,6	2,2	0,0	20,9	14,8	87,7	63,3
2018-5-30	125,3	1,9	0,0	23,4	12,6	88,2	48
2018-5-31	232,7	2,0	0,0	21,1	12,8	87,4	50,3
2018-6-1	267,8	2,7	0,0	23	14,4	87,3	56,4
2018-6-2	249,2	3,5	0,0	21,2	14,4	87,3	54,2
2018-6-3	143,8	2,1	0,0	21	14,4	87,8	59,2
2018-6-4	178,9	2,7	0,4	22,9	11,2	88,5	51
2018-6-5	228,9	2,1	0,0	23,8	15,4	88	55,2
2018-6-6	237,9	2,9	0,0	19,5	16,1	87,3	66,1
2018-6-7	74,9	1,4	0,8	21,2	14,1	86,7	55,3
2018-6-8	166,1	1,8	5,2	22,8	11,1	88,7	61,8
2018-6-9	191,1	1,5	2,2	20	13,8	88,3	71,7
2018-6-10	134,2	1,8	0,0	25	15,4	88,2	49
2018-6-11	241,6	1,9	0,0	22,3	16,5	87,8	62
2018-6-12	179,2	3,0	0,0	26,5	15,4	86	57,2
2018-6-13	307,4	3,1	0,0	27,2	15,1	88,1	49,3
2018-6-14	304,0	3,0	0,0	23,6	16,6	87,6	68,1
2018-6-15	299,7	3,5	0,0	27,9	15,6	87,2	40,3
2018-6-16	308,9	3,8	0,0	32,3	16,1	87,9	46,8
2018-6-17	308,7	2,8	0,0	38,8	16,5	85,9	25,5
2018-6-18	303,2	1,8	0,0	35,1	16,7	87,5	40,5
2018-6-19	292,1	1,2	0,0	32,5	19,2	86,9	44,2
2018-6-20	222,6	0,7	0,0	33	19,1	87,4	44,2
2018-6-21	194,8	1,4	8,8	32,7	19,5	84,6	45,5
2018-6-22	239,8	0,9	11,8	33,8	18	86,9	44,7
2018-6-23	294,6	1,1	0,0	30,2	17,2	86,9	54,4
2018-6-24	269,0	1,1	0,0	28	17	87,8	56
2018-6-25	209,1	1,2	0,0	26,4	14,4	88,4	50,8
2018-6-26	299,0	1,9	0,0	26,5	16,1	87,6	55
2018-6-27	280,7	1,9	0,0	25,6	17,5	87,8	59,2
2018-6-28	191,2	2,2	0,0	26	15,2	88,2	56,9
2018-6-29	161,7	1,0	0,4	25,5	15,1	87,7	59
2018-6-30	210,1	1,0	1,1	26,2	17,5	87,6	55,3
2018-7-1	239,7	1,2	0,0	24,1	17,3	88	66,6
2018-7-2	101,7	0,9	0,2	27,5	13	87,8	47,6
2018-7-3	231,9	1,1	0,2	26,1	14,4	88,1	55,9
2018-7-4	239,0	1,4	0,0	27	15,8	87,8	54,3
2018-7-5	249,0	1,7	0,0	26,9	16,6	88,2	51,3
2018-7-6	300,3	2,6	0,0	28,6	17,3	88	55,5
2018-7-7	296,7	2,7	0,0	31	17,5	87,7	50,5
2018-7-8	297,2	1,6	0,0	32,5	15,9	87,9	54,9
2018-7-9	212,7	1,0	0,0	28,9	17,9	87,8	61
2018-7-10	185,8	1,1	0,0	27,9	18,8	87,5	59
2018-7-11	271,0	1,6	0,0	25,2	18,4	86,7	67,1
2018-7-12	200,6	2,8	0,0	28,6	14,4	87,5	50,8
2018-7-13	264,6	1,2	0,0	27,9	14,8	87,2	51,8
2018-7-14	238,9	0,7	0,0	25,8	16,2	88	58,5
2018-7-15	187,7	0,9	0,0	28,4	16,5	87,9	57

2018-7-16	282,2	1,9	0,0	29,4	16,6	88,2	56,1
2018-7-17	291,8	2,4	0,0	26,4	16,6	87,6	54,7
2018-7-18	249,0	2,4	0,0	26,5	16,8	87,8	57,2
2018-7-19	244,8	2,3	0,0	25,8	18,2	87,8	61,3
2018-7-20	281,4	3,1	0,0	26,5	16,9	87,7	50,9
2018-7-21	289,7	3,2	0,0	28,1	18,5	85	55,5
2018-7-22	274,2	3,1	0,0	29,9	14,5	87,7	48,2
2018-7-23	283,3	1,4	0,0	27,8	14	87,5	58,6
2018-7-24	229,0	1,4	0,0	23,9	16,5	88	75
2018-7-25	109,3	1,7	0,0	26,6	18,2	87,7	55,2
2018-7-26	251,7	2,6	0,0	27,4	16,9	88	53
2018-7-27	257,1	2,0	0,0	28,3	16	88,2	55,8
2018-7-28	366,2	2,0	0,0	27,3	15,1	88,1	50,4
2018-7-29	270,7	1,5	0,0	28,4	16,6	88,1	59,5
2018-7-30	253,3	1,7	0,0	30,1	19,8	86,9	57,8
2018-7-31	317,6	2,6	0,0	36	16,1	88,2	43,9
2018-8-1	268,3	2,0	0,0	41,5	18,1	87,8	33,6
2018-8-2	244,2	0,8	0,0	45,2	21	86,7	24,8
2018-8-3	237,4	0,2	0,0	47,3	21,1	87	26,4
2018-8-4	231,5	0,9	0,0	45,5	20,8	87,2	23,7
2018-8-5	231,1	0,8	0,0	31,5	19	87,2	52
2018-8-6	240,9	2,2	0,0	27,1	18,9	86	57,6
2018-8-7	231,4	3,4	0,0	26,5	16,4	87,6	50,7
2018-8-8	259,2	3,1	0,0	26	16,4	87,4	50,3
2018-8-9	252,7	3,3	0,0	29,8	14,8	87,3	42,9
2018-8-10	257,8	1,9	0,0	35,2	14,4	88	39,1
2018-8-11	237,7	1,6	0,0	29	16,8	88,1	58,5
2018-8-12	249,7	2,8	0,0	27,3	17,9	87,9	54,1
2018-8-13	246,1	2,8	0,0	34,4	17,2	87,7	43,3
2018-8-14	241,4	2,4	0,0	32,8	14,9	86,8	48,7
2018-8-15	238,7	0,6	0,0	29	15,7	88,2	58,4
2018-8-16	230,8	1,6	0,0	33,8	17,5	87,9	43
2018-8-17	206,8	2,1	0,0	39	14,9	87,3	29,2
2018-8-18	238,3	0,8	0,0	40,2	16,4	86,9	22,8
2018-8-19	251,6	0,7	0,0	34,9	18,3	82,4	38,2
2018-8-20	236,4	0,2	0,0	35,8	17,4	87,7	39,2
2018-8-21	233,5	0,3	0,0	37,5	15,2	87,9	33,3
2018-8-22	240,4	0,5	0,0	34,5	14,9	87,7	31,9
2018-8-23	231,1	1,2	0,0	34	15,2	88,3	37,2
2018-8-24	226,1	1,1	0,0	29,5	16,6	88,2	42,3
2018-8-25	246,7	2,6	0,0	34,5	14,2	88,2	34
2018-8-26	233,5	1,8	0,0	35,2	14,4	88,3	37
2018-8-27	109,1	0,7	0,0	24,9	16,5	87,7	67
2018-8-28	84,7	1,2	0,0	28	18	87,4	45,9
2018-8-29	210,4	2,9	0,0	34,1	15,9	87,9	37
2018-8-30	230,5	2,1	0,0	40	14,4	87,9	25
2018-8-31	216,6	0,9	0,0	37,5	17,5	85,8	33,8
2018-9-1	217,6	1,0	0,0	35,2	17,5	87,7	44,8
2018-9-2	210,6	1,0	0,0	29,1	19,1	87,8	49,5
2018-9-3	133,0	0,7	0,0	29,3	16,4	88,2	52,7
2018-9-4	132,7	0,6	0,0	28,8	18	88,1	50,4
2018-9-5	182,8	1,3	0,0	27,9	18,4	87,4	51,5
2018-9-6	152,8	0,9	0,0	29,6	13,4	87,3	46,2
2018-9-7	150,9	0,8	0,0	28,2	15,9	88,6	52,5
2018-9-8	169,9	1,1	0,0	32,2	14,8	88,2	38,2
2018-9-9	199,3	1,3	0,0	36	14,4	88,4	25,5
2018-9-10	205,6	1,6	0,0	36	16,9	84,6	27,1
2018-9-11	174,3	1,2	0,0	35,7	17,4	82,3	32,9
2018-9-12	192,8	0,5	0,0	36,9	15,9	82,2	24,2
2018-9-13	197,2	0,9	0,0	34	15,4	88,4	31,6
2018-9-14	181,6	1,0	0,0	35	16	88,5	28,5
2018-9-15	179,1	1,0	0,0	35,8	15,4	88,2	32,8

2018-9-16	192,1	1,0	0,0	35,7	16,1	87,7	28,3
2018-9-17	176,4	0,8	0,0	33	15,6	88,2	37,4
2018-9-18	190,0	1,2	0,0	34,8	14,7	88,6	27,1
2018-9-19	189,2	1,0	0,0	31,2	15,2	88,1	40
2018-9-20	188,0	1,2	0,0	32,8	17,2	87,8	40
2018-9-21	197,5	1,4	0,0	38	14,3	87,9	22,4
2018-9-22	183,5	1,0	0,0	38,3	16,5	87,8	28,1
2018-9-23	183,5	1,1	0,0	41	16,1	88,2	18,2
2018-9-24	185,0	0,7	0,0	36,5	17	82,9	32,5
2018-9-25	178,0	0,6	0,0	37	16	85,8	32,2
2018-9-26	188,1	0,9	0,0	36,5	18,3	85,2	32,3
2018-9-27	176,9	1,1	0,0	36,8	18,1	86,1	27,6
2018-9-28	176,7	1,0	0,0	33	16,6	79,6	38,3
2018-9-29	175,9	1,1	0,0	32,6	14,4	88,2	38,4
2018-9-30	177,5	1,0	0,0	34	14	88,1	27,8
2018-10-1	182,8	0,8	0,0	34,9	12,3	83,1	15
2018-10-2	187,4	0,6	0,0	36,3	10,9	74,8	11,4
2018-10-3	200,3	0,5	0,0	34,2	9,4	82	20,5
2018-10-4	179,0	0,0	0,0	34	9,8	83,6	17,2
2018-10-5	180,9	0,1	0,0	31,6	11,2	85,1	30,4
2018-10-6	171,4	0,9	0,0	25,9	12	83,4	26,5
2018-10-7	178,5	1,2	0,0	29,8	7,7	87,1	18,9
2018-10-8	165,9	0,9	0,0	30,2	9,7	79	22,2
2018-10-9	171,8	0,5	0,0	25,8	9,7	86,8	49,7
2018-10-10	120,4	0,7	0,0	26,7	16,9	86,9	45,1
2018-10-11	134,5	1,6	0,4	27,8	13,2	88,7	49
2018-10-12	144,5	0,8	0,0	30,5	12,4	87,6	44,9
2018-10-13	146,4	1,2	0,4	21,5	13,2	86,5	44,5
2018-10-14	140,3	2,5	0,2	20,2	11,6	88	59,8
2018-10-15	80,0	1,7	3,7	25	15,7	87,3	52,3
2018-10-16	102,1	1,0	0,2	25,2	11,7	88,8	52,1
2018-10-17	139,2	1,0	2,2	24	12,9	89,2	51,7
2018-10-18	103,6	1,6	0,2	24,8	13,3	89,2	51,5
2018-10-19	88,4	1,1	0,0	26,2	14,5	88,7	41,6
2018-10-20	152,9	1,4	0,0	25	14	88,3	52,8
2018-10-21	109,6	1,2	0,2	28,6	11,2	88,1	40,2
2018-10-22	136,5	0,5	0,2	29,2	12,8	89	45,8
2018-10-23	111,0	0,4	1,5	29,4	14,1	82,2	42,9
2018-10-24	185,3	0,7	0,2	27	9,9	88,9	38,3
2018-10-25	187,0	0,5	0,0	25	12,8	89,1	51,2
2018-10-26	93,2	0,6	0,0	19	12,4	89,3	39,2
2018-10-27	129,8	3,1	1,1	16,9	6,8	85	41,2
2018-10-28	118,0	3,1	0,2	17,6	7,2	86,8	42,6
2018-10-29	112,9	1,9	0,0	14,2	9,6	89,8	73,8
2018-10-30	94,1	2,1	6,1	11,2	9,3	90	76,2
2018-10-31	32,4	1,3	0,2	19,5	5,9	87,6	66
2018-11-1	122,7	0,7	0,2	19,2	13,8	89,3	78,4
2018-11-2	58,0	1,6	0,2	16,4	12,2	89,5	80,4
2018-11-3	54,1	2,3	0,2	17,1	8,4	90	75,8
2018-11-4	73,9	1,2	0,2	16,1	9,9	89,6	68,7
2018-11-5	95,8	2,8	0,2	19,2	8,4	90,2	70,4
2018-11-6	69,3	1,0	0,2	19,9	11,9	89,6	50,9
2018-11-7	135,2	1,5	0,2	17,2	9	89,8	72,1
2018-11-8	81,6	1,6	0,2	18,5	6,4	90,2	68,4
2018-11-9	95,8	0,8	0,2	20,5	15	89,4	72,2
2018-11-10	50,3	1,3	0,0	17,9	12,2	87,9	67,2
2018-11-11	10,7	1,3	0,2	21,1	10,3	88,8	62,1
2018-11-12	101,2	0,9	0,2	19	7,6	90,2	67,1
2018-11-13	130,8	0,9	0,0	22,9	9,2	89,8	59,8
2018-11-14	120,2	0,4	0,2	21,5	10,9	89,4	64,8
2018-11-15	91,8	1,0	0,0	22,4	9,4	89,4	63,6

Fonte: Estação meteorológica de Salvaterra de Magos.

Anexo I-B: Dados de caracterização da estação meteorológica e localização dos parâmetros, para reconhecimento do programa ISAREG.

```
Dados_Estacao_EVC - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
==Nome do ficheiro da estação==
Dados_Salvaterra_2018.txt
==Tipo de dados: Sequência de dados para ISAREG: 1-diário ou 2-mensal; 3-Dados avulso
1
==nº de linhas de cabeçalho==
1
==Data (ou ano e nº de mês),Tmax,Tmin,Hummax,Hummin,Radiac,Vento,Pre (Coluna nº)==
1 5 6 7 8 2 3 4
==codigo do formato das datas:DADOS DIÁRIOS:1-dd/mm/aaaa; 2-aaaa/mm/dd; 3-dd/mm/aa; 4-aa/mm/dd: MENSAIS; 1-ano <tab> mes==
1
==Unidades da insolação: 0-H sol mês; 3-Rs (Mj/m2/dia); 4-Rns (Mj/m2/dia); 5- Rn (Mj/m2/dia)
==Unidades da insolação: 1-h sol/dia; 6-Rs (kj/m2/dia); 7-Rns (kj/m2/dia); 8- Rn (kj/m2/dia)
==Unidades da insolação: 2-n/n; 9-Rs (W/m2); 10-Rns (W/m2); 11- Rn (W/m2)
9
==unidades para o vento (iunvento) 1-m/s; 2-km/h==
1
==Codigo dos ficheiros de saída c/ dados diários da evapotranspiração e precipitação ( se a coluna PRE diferente de zero)
Dados_Met
==latitude
39.03
==altitude
33.00
==altura do anemómetro (ou Ksv no método de Hargreaves 0-1-0.19)
2.00
```

Anexo II: Base de dados da cultura do milho.

BASE DE DADOS DE CULTURAS							
Milho_grao_P1	Data de sementeira(dia e mês col #s)	6	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coefficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_P2_0937	Data de sementeira(dia e mês col #s)	11	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coefficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_P2_5741	Data de sementeira(dia e mês col #s)	11	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coefficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_P3	Data de sementeira(dia e mês col #s)	20	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	55	80	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	55	120	150	
	Coefficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_P4	Data de sementeira(dia e mês col #s)	3	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coefficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					

Milho_grao_P5	Data de sementeira(dia e mês col #s)	2	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coeficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_Canhao1	Data de sementeira(dia e mês col #s)	10	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coeficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_Canhao2	Data de sementeira(dia e mês col #s)	10	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coeficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					
Milho_grao_Canhao3	Data de sementeira(dia e mês col #s)	10	6				
	Fases	A	B	C	D	E	F
	Dias após sementeira (fases)	0	30	65	82	120	150
	Fracção facilmente utilizável (%)	55	55	55	55	55	90
	Profundidade radicular (m)	0,15	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8
	Dias após sementeira (valores de kc)	0	30	65	120	150	
	Coeficiente cultural	-1	2	1,2	1,2	0,5	
	Coef. sensibilidade hídrica	1,2					

Anexo III: Base de dados do solo das parcelas.

BASE DE DADOS DE SOLOS						
solo_P1	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_P2	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_P3	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_P4	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_P5	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_Canhao1	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_Canhao2	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	
solo_Canhao3	Nº Camadas	Prof. Camada	U (mm/m)	CC(%)	CE(%)	da
	1	1		30	15	

Anexo IV: Base de dados das regas das parcelas.

BASE DE DADOS DE ESQUEMAS DE REGA														
P1			P2			P3			P4			P5		
Io (% RU)	100		Io (% RU)	100		Io (% RU)	100		Io (% RU)	100		Io (% RU)	100	
loo (% RU)	100		loo (% RU)	100		loo (% RU)	100		loo (% RU)	100		loo (% RU)	100	
NodFim	0		NodFim	0		NodFim	0		NodFim	0		NodFim	0	
Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3	
Dia	Mês	Dotação	Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao
11	6	15	11	6	10	20	6	6	5	6	7	2	6	7
12	6	11	12	6	10	21	6	5	11	6	5	11	6	5
13	6	10	13	6	10	23	6	9	14	6	5	13	6	4
14	6	8	14	6	9	24	6	7	16	6	5	16	6	5
15	6	8	15	6	10	25	6	8	17	6	5	17	6	5
16	6	4	16	6	10	26	6	8	18	6	5	18	6	5
17	6	8	17	6	10	3	7	5	19	6	4	19	6	4
18	6	8	18	6	8	5	7	6	20	6	4	23	6	4
19	6	5	19	6	5	10	7	6	24	6	5,5	26	6	5
26	6	5	23	6	5	11	7	6	27	6	5	3	7	5
27	6	5	24	6	7	12	7	3	2	7	4	7	7	5
2	7	5	2	7	4	14	7	8	3	7	5	10	7	5
3	7	6	3	7	6	15	7	5	7	7	5	11	7	7
5	7	7	5	7	6	16	7	8	10	7	5	12	7	5
11	7	8	10	7	6	17	7	8	11	7	7	14	7	8
12	7	6	11	7	7	19	7	6	12	7	5	15	7	4
14	7	8	14	7	8	20	7	5	14	7	8	16	7	6
15	7	5	15	7	5	21	7	5	15	7	4	18	7	6
16	7	8	16	7	8	23	7	4	16	7	6	19	7	8
18	7	8	17	7	8	24	7	8	18	7	8	21	7	8
21	7	8	18	7	8	26	7	6	21	7	5	22	7	4
22	7	5	19	7	8	27	7	7	22	7	4	23	7	6
24	7	8	20	7	8	2	8	5	23	7	6	24	7	7,5
26	7	8	21	7	8	4	8	10	26	7	7,5	26	7	7
28	7	10	22	7	7	6	8	8	27	7	7	28	7	7
30	7	10	23	7	7	7	8	8	28	7	7	30	7	7
1	8	8	24	7	6	8	8	10	30	7	7	31	7	7
2	8	5	26	7	7	9	8	10	31	7	7	1	8	7
5	8	7	28	7	7	10	8	8	1	8	7	2	8	5
7	8	10	30	7	7	11	8	10	2	8	5	4	8	9
8	8	10	31	7	7	12	8	10	4	8	7	6	8	7
9	8	10	1	8	8	13	8	7	6	8	7	7	8	7
10	8	8	2	8	7	14	8	6	7	8	7	8	8	7

11	8	10	4	8	7	15	8	8	8	8	7	9	8	7
12	8	10	6	8	7	17	8	8	9	8	7	10	8	8
13	8	8	7	8	8	18	8	8	10	8	8	11	8	8
15	8	10	8	8	8	19	8	8	11	8	8	12	8	8
16	8	8	9	8	8	21	8	7	12	8	8	13	8	7
18	8	10	10	8	8	22	8	7	13	8	7	14	8	5
19	8	8	11	8	10	23	8	7	14	8	7	15	8	7
20	8	8	12	8	10	25	8	7	15	8	5	16	8	5
21	8	7	13	8	8	26	8	7	16	8	5	18	8	9
22	8	7	14	8	6	28	8	7	18	8	9	19	8	8
23	8	7	15	8	8	30	8	7	19	8	8	20	8	6
25	8	10	16	8	8	1	9	7	20	8	6	21	8	6
26	8	8	18	8	10	2	9	7	21	8	6	22	8	7
29	8	7	19	8	8	4	9	7	22	8	7	23	8	7
1	9	7	20	8	8	7	9	10	23	8	6	25	8	8
2	9	7	21	8	7	8	9	7	25	8	8	26	8	8
4	9	7	22	8	7	9	9	7	26	8	8	28	8	6
9	9	8	23	8	6	10	9	7	28	8	6	30	8	7
10	9	8	25	8	8	12	9	7	30	8	7	1	9	7
13	9	8	26	8	8	13	9	6	1	9	7	2	9	7
15	9	8	28	8	6	15	9	7	2	9	7	4	9	7
16	9	8	30	8	7	16	9	6	5	9	7	7	9	7
18	9	8	31	8	11	17	9	6	7	9	7	8	9	7
19	9	8	2	9	7	18	9	7	8	9	7	10	9	7
20	9	7	5	9	7	20	9	7	9	9	7	12	9	7
22	9	7	7	9	7	22	9	7	10	9	7	13	9	7
25	9	7	8	9	7	23	9	7	12	9	7	15	9	7
26	9	7	10	9	6	25	9	7	13	9	7	16	9	6
29	9	7	12	9	8	26	9	7	15	9	7	18	9	7
30	9	7	16	9	7	29	9	7	16	9	6	19	9	7
2	10	5	19	9	7	30	9	7	17	9	7	20	9	7
3	10	6	20	9	7	5	10	5	19	9	7	22	9	7
6	10	7	22	9	7	6	10	6	20	9	7	23	9	7
			23	9	7	7	10	7	22	9	7	25	9	7
			25	9	7				23	9	7	26	9	7
			26	9	7				25	9	7	29	9	7
			29	9	7				26	9	7	30	9	7
			5	10	5				29	9	7	1	10	6
			6	10	6				30	9	7	3	10	6
			7	10	7				2	10	6	6	10	6
									3	10	6	7	10	6
									6	10	6			
									7	10	6			

Dotações de rega (mm/dia), utilizadas pelo pivot 1 (P1), pivot 2 (P2), pivot 3 (P3), pivot 4 (P4) e pivot 5 (P5). Estas dotações foram inseridas no programa ISAREG.

1ªBoca de rega			2ªBoca de rega			3ªBoca de rega		
Io (% RU)	100		Io (% RU)	100		Io (% RU)	100	
Ioo (% RU)	100		Ioo (% RU)	100		Ioo (% RU)	100	
NodFim	0		NodFim	0		NodFim	0	
Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3		Códig(1,3,5,6)	3	
Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao
12	6	50	13	6	50	15	6	50
18	6	40	19	6	40	20	6	40
26	6	40	28	6	30	25	6	25
10	7	40	11	7	40	12	7	40
23	7	40	27	7	50	26	7	40
31	7	60	3	8	60	2	8	60
7	8	50	10	8	60	9	8	60
16	8	75	25	8	75	15	8	60
22	8	75	3	9	70	23	8	75
30	8	75	17	9	75	1	9	75
7	9	50	28	9	70	11	9	75
20	9	75	4	10	50	21	9	75
26	9	75						
3	10	50						

Dotações de rega (mm/dia) aplicadas nos três canhões de rega e introduzidas no programa ISAREG. A 1ª Boca de rega corresponde ao canhão de rega 1, a 2ªBoca de rega corresponde ao canhão de rega 2 e a 3ªboca de rega corresponde ao canhão de rega 3.

Anexo V: Exemplo prático de criação de um ficheiro de avaliação da gestão da rega. Considerou-se sistema de rega – Pivot 1.

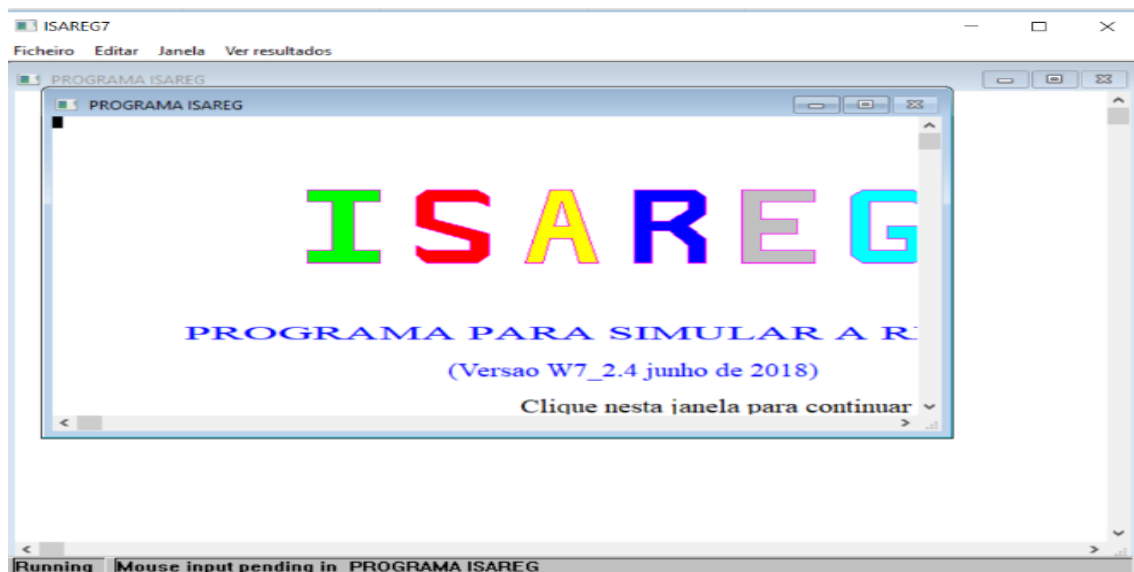


Figura 49: Painel de apresentação do modelo ISAREG.

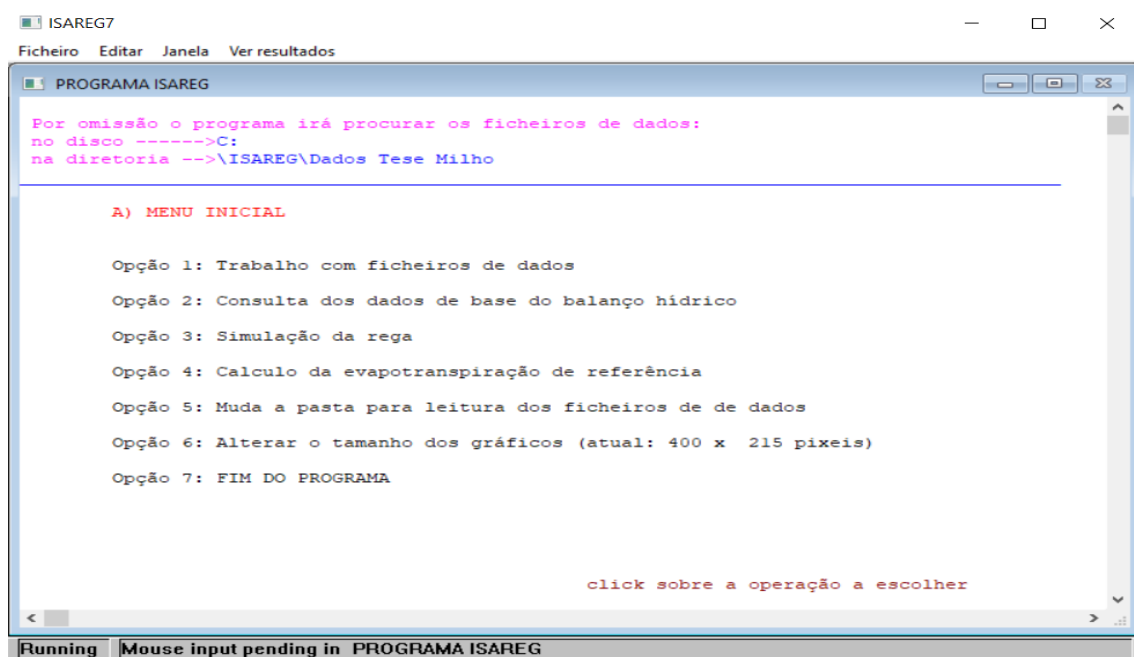


Figura 50: Menu inicial do programa ISAREG.

Nesta etapa escolheu-se a opção 3: Simulação de rega.

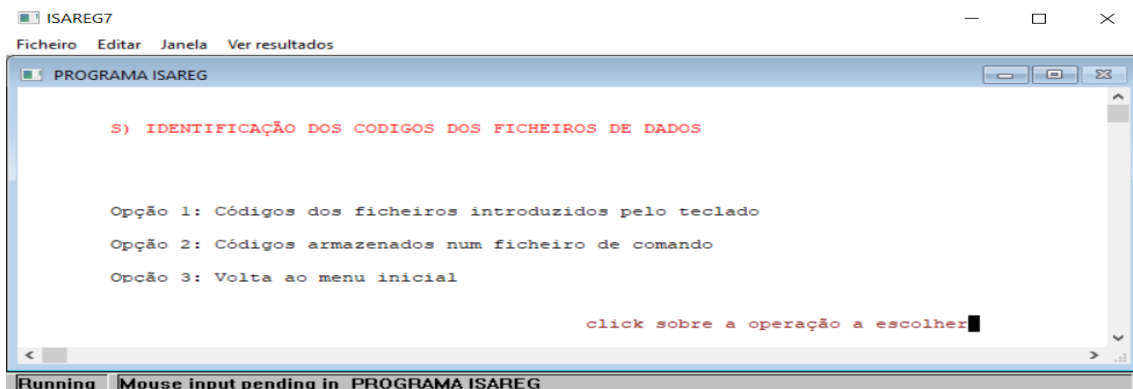


Figura 51: Escolha dos códigos dos ficheiros de saída.

Foi escolhida a opção 1: Códigos dos ficheiros introduzidos pelo teclado. A opção 2 deve ser escolhida quando já estão criados os ficheiros de comando (e por alguma razão se tenha alterado os ficheiros de base), fazendo-se uma atualização do ficheiro de saída.

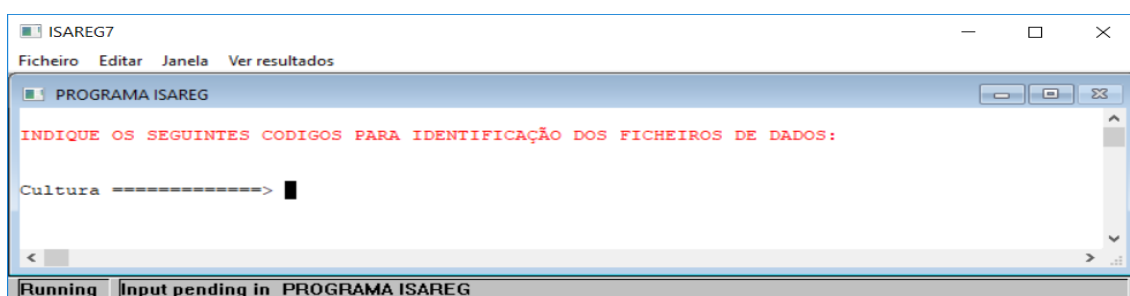


Figura 52: Escolha do ficheiro da cultura para análise (1).

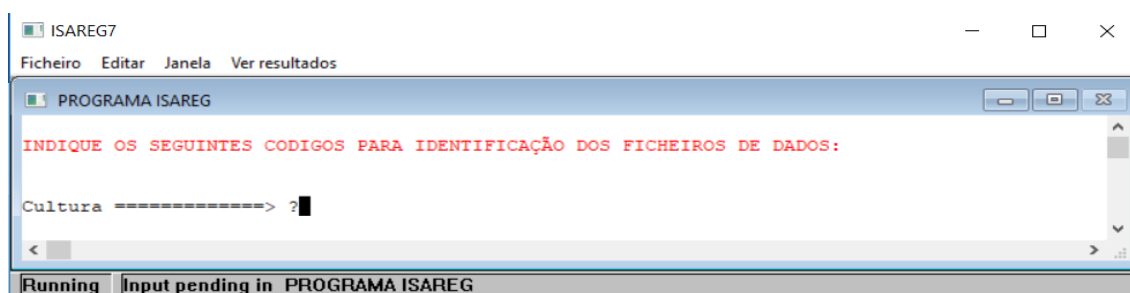


Figura 53: Escolha do ficheiro da cultura para análise (2).

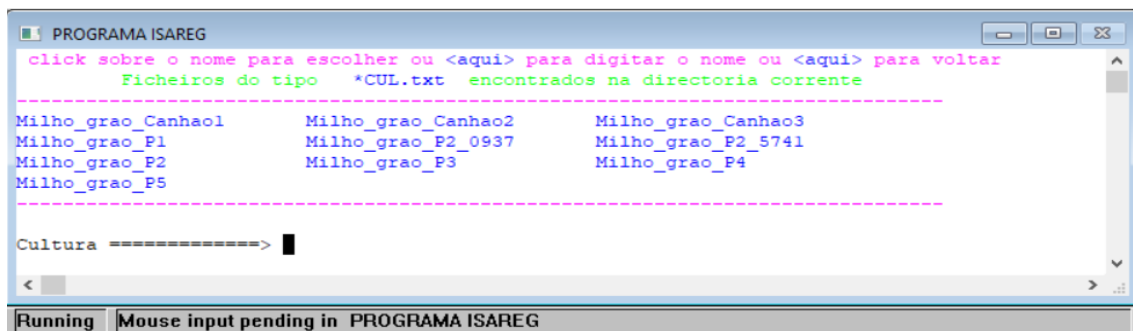


Figura 54: Escolha do ficheiro da cultura para análise (3)

Nas figuras 30-32, o programa define apenas que se trata de um ficheiro sobre culturas. Na figura 31, faz-se a questão ao programa através do uso de “?”, para que este no passo seguinte (figura 32) apresente quais os ficheiros de culturas/parcelas foram criados anteriormente e que estão disponíveis para análise. Para esta simulação (Pivot 1), escolheu-se o ficheiro: Milho_grao_P1.

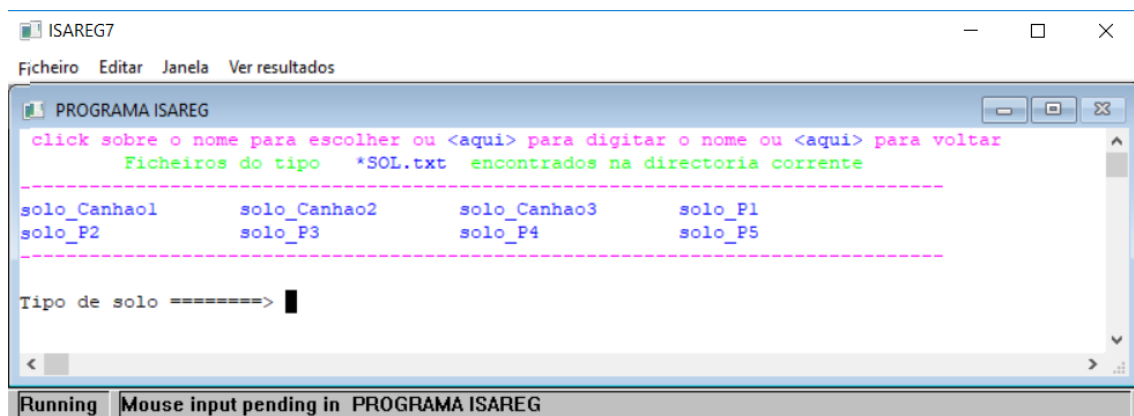


Figura 55: Escolha do tipo de solo.

São apresentados todos os ficheiros de solo que o programa criou inicialmente no formato ISAREG. Repete-se o mesmo procedimento explicado na figura 24 de modo a que o programa mostre os ficheiros que possui guardados. Escolheu-se o ficheiro: solo_P1.

Repete-se novamente o procedimento da figura 30 para que o programa disponibilize todos os ficheiros relacionados com os dados meteorológicos. Só se apresenta um ficheiro, pois apenas se trabalhou com os dados de uma estação meteorológica. Em concreto, escolheu-se o ficheiro: Dados_Met.

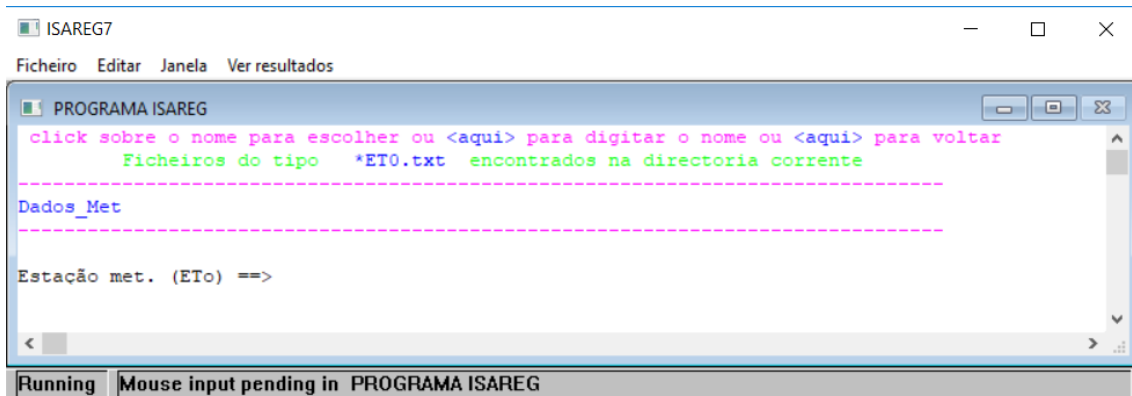


Figura 56: Escolha do ficheiro meteorológico

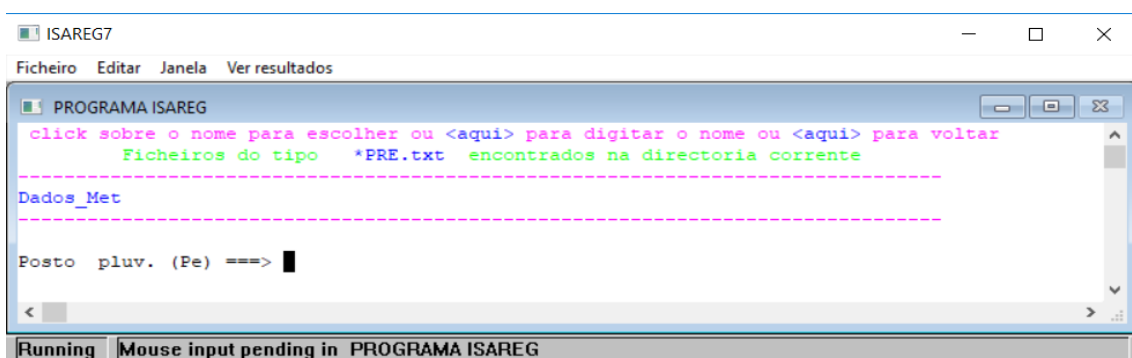


Figura 57: Escolha do ficheiro pluviométrico.

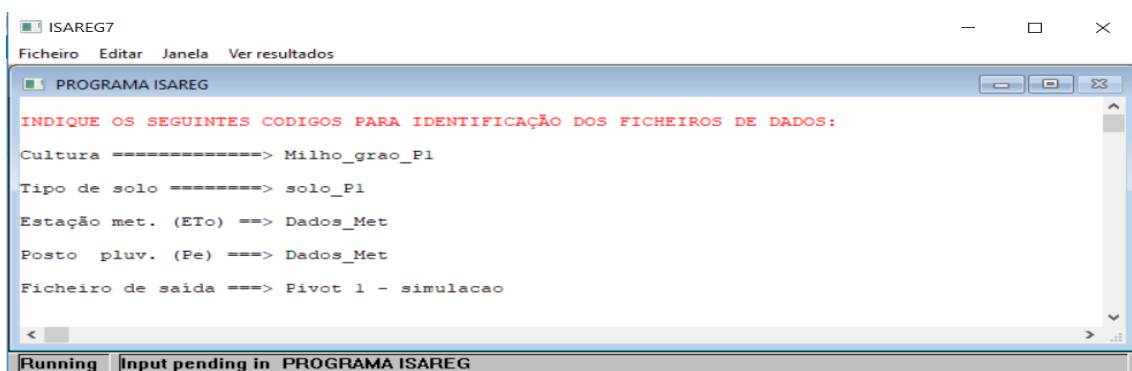


Figura 58: Denominação do ficheiro de saída.

Atribuiu-se o nome ao ficheiro de saída: Pivot 1 – simulação.

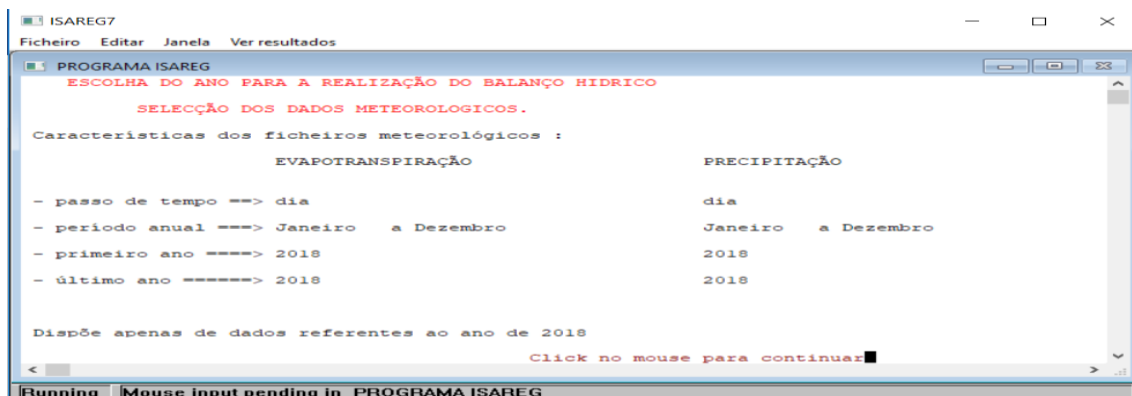


Figura 59: Confirmação dos ficheiros introduzidos no programa.

Nesta etapa deve-se conferir se estão corretamente seleccionados os ficheiros para a análise do Pivot 1.

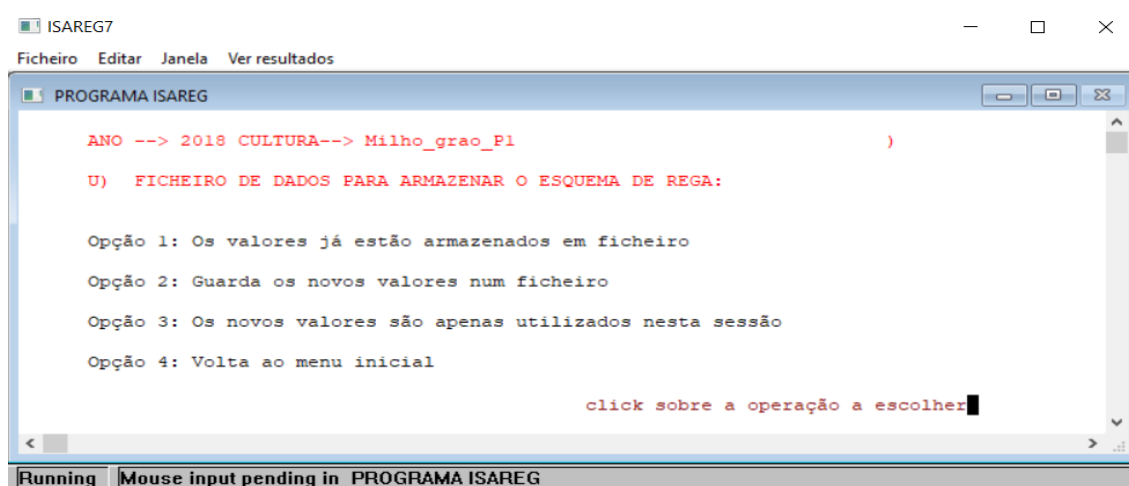


Figura 60: Seleção do modo de introdução das regras aplicadas no programa.

Escolheu-se a opção 1: os valores já estão armazenados em ficheiro, uma vez que já existe um ficheiro com as regras, não sendo necessário introduzir as regras no programa.

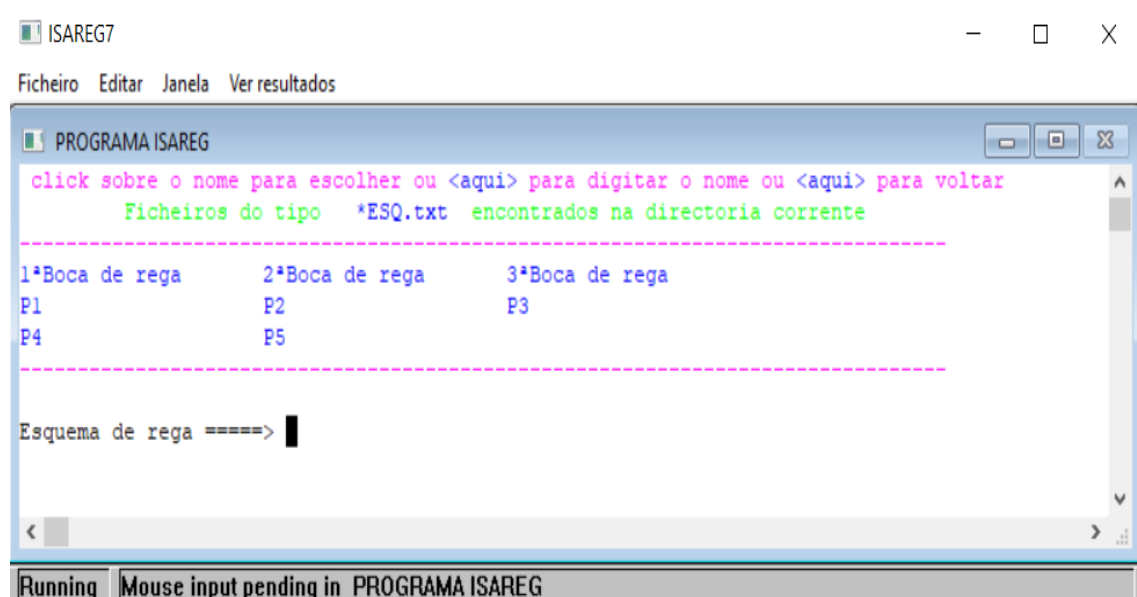


Figura 61: Seleção do ficheiro de rega.

Escolheu-se o ficheiro: P1. Este é o ficheiro que corresponde às regas feitas no Pivot 1.

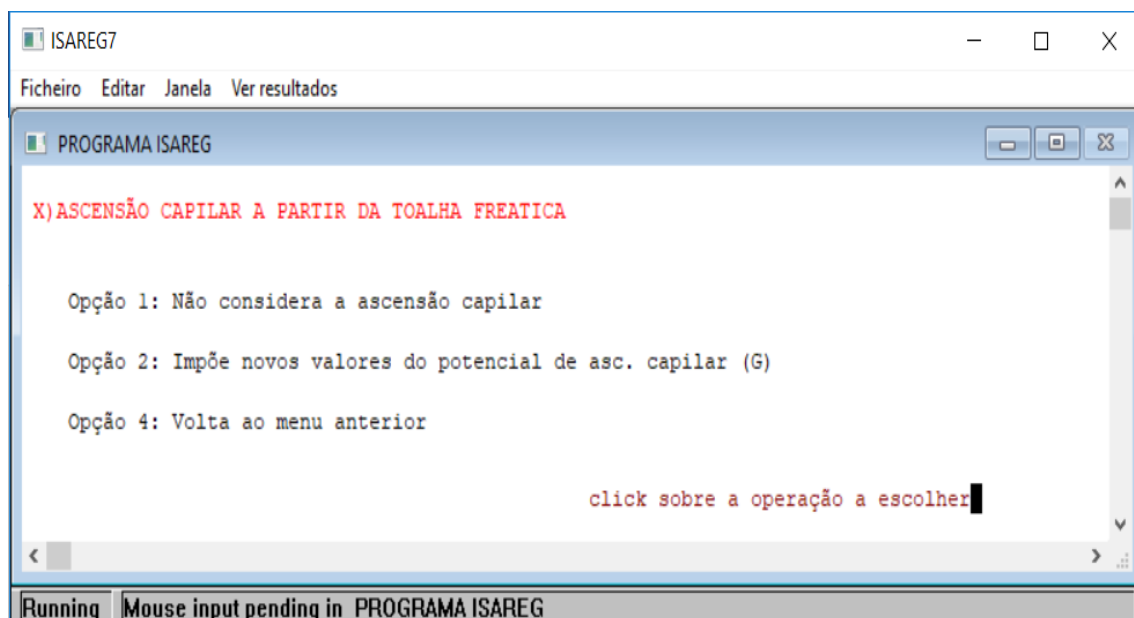


Figura 62: Ascensão capilar.

Como não se tomam valores para a ascensão capilar, escolheu-se a opção 1: Não considera a ascensão capilar.

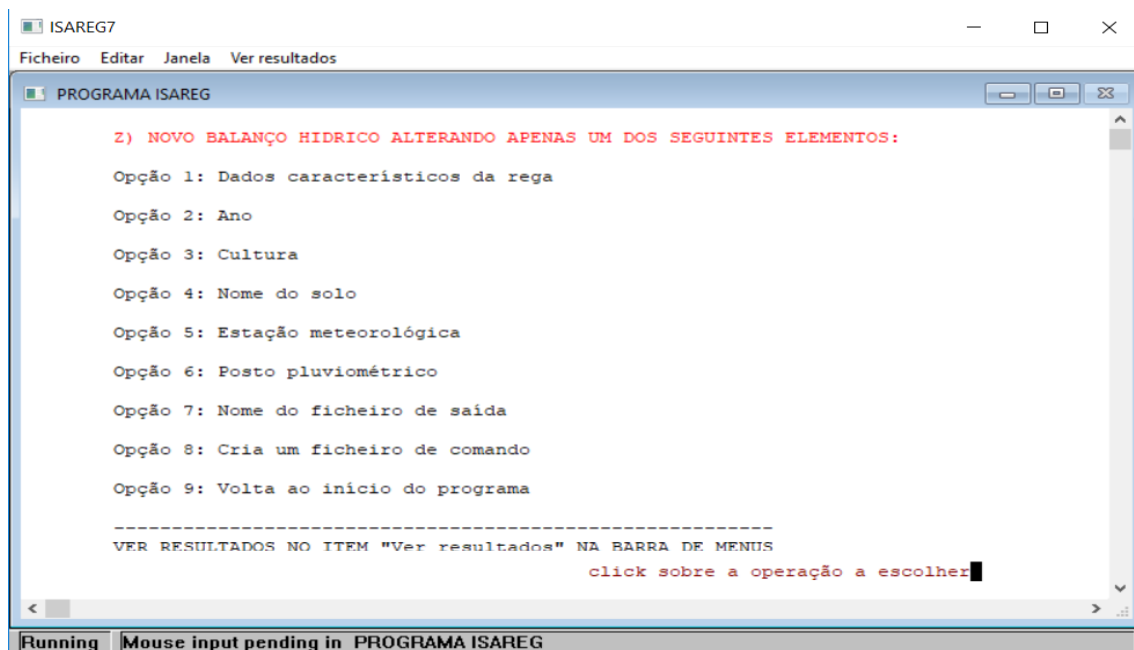


Figura 63: Novo Balanço Hídrico.

A simulação pretendida, neste caso para o Pivot 1, está concluída. Na barra superior pode-se consultar em “Ver resultados” a informação detalhada sobre o Balanço Hídrico. Aconselha-se a concluir a Opção 8: cria um ficheiro de comando, para que fique guardado no programa esta simulação.

Quando se pretender consultar novamente estes resultados basta no menu inicial escolher: Opção 3: Simulação de rega; seguido no passo seguinte de opção 2: Ficheiros armazenados num ficheiro de comando e finalmente, escolhendo-se o ficheiro da lista dos ficheiros de comando, como mostra no quadro seguinte:

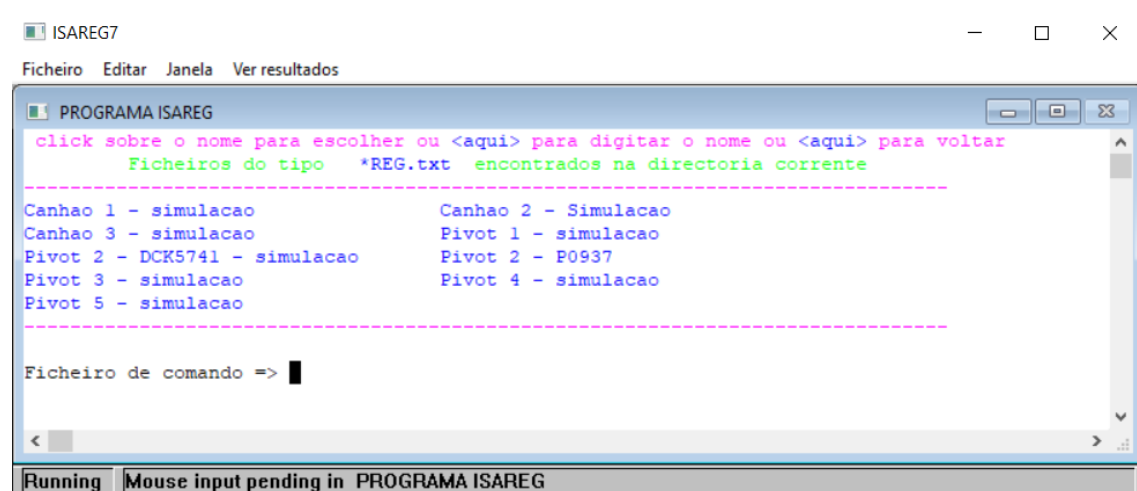


Figura 64: Seleção de um ficheiro de comando.

Para voltar a ter acesso a toda a informação relativa ao Pivot 1, escolhe-se o ficheiro de comando: Pivot 1 – simulacao. Este foi o nome atribuído ao ficheiro no passo anterior descrito (Quadro 18). Desta forma evita-se que se tenha de seguir todos estes passos até chegar à alínea z) Novo Balanço Hídrico.

Anexo VI: Abertura de Perfis de Solo

Data: 2 de agosto de 2018

Esta operação foi feita com o intuito de analisar no campo, alguns pontos das cartas de NDVI (29 de julho). Nas cartas de NDVI, apresentadas no capítulo “Resultados e Discussão”, encontra-se assinalado os locais onde foram abertos os perfis de solo.

Pivot 1



Visualmente verificou-se na parcela uma mancha significativa de milho, com problemas de desenvolvimento vegetativo, com plantas de menor tamanho.

Verificou-se que, a uma profundidade de cerca de 30 cm havia compactação do solo impedindo as raízes de proliferar o solo (possível de se visualizar nas imagens da esquerda). Esta camada compacta, prologava-se até aos 3m de profundidade, como se observa na imagem da direita.

Pivot 2



Nesta parcela, abriram-se 2 perfis de solo. Um numa zona onde o milho não se conseguiu desenvolver e noutra onde os valores de NDVI da parcela eram máximos. Verificou-se que a textura e composição do solo era igual em ambas as situações, diferindo apenas na profundidade da camada compacta. Nas imagens acima, verifica-se a presença desta camada a cerca de 20cm de profundidade.

Esta camada não permitiu que a água se infiltrasse no solo, nem o desenvolvimento das raízes e contribuiu ainda para problemas técnicos de atascamentos do pivot devido a encharcamento.

Pivot 4



A parcela Pivot 4, demonstrou uma particularidade diferente de todas as outras parcelas, com o aparecimento de uma camada escura de solo (com cerca de 10 cm), a uma profundidade de cerca de 25 cm abaixo da superfície (imagem à esquerda).

Caracterizou-se pela dificuldade de abertura do perfil, pela retroescavadora, devido à elevada compacidade daquela camada e também, pelo odor muito diferente do restante material do solo. Na imagem à direita, consegue-se observar a composição da camada (de textura muito fina e de elevada plasticidade, quando molhada). Verificou-se que, quanto mais profunda se encontrava esta camada, menor era o impacto no desenvolvimento vegetativo da cultura.

Esta situação não permite o desenvolvimento das raízes do milho e a infiltração da água no solo.

Por baixo desta camada, o solo apresentava-se homogêneo até cerca de 2 m, com elevado nível de compactação como se observa.

Solução: sugere-se uma operação de ripagem para permitir o aumento da profundidade do solo e posteriormente, realizar uma lavoura, com a finalidade de misturar a determinada camada (uma vez que esta tinha cerca de 10 cm de altura no perfil do solo);

Pivot 5



Este perfil de solo foi aberto, numa zona da parcela com uma área bastante pequena e que não é perceptível na carta de NDVI. Tal facto, fazia com que apresentasse os valores mais altos de NDVI à volta desta mancha, não havendo uma razão aparente que esclarecesse esta situação.

A abertura do perfil, mostrou que o problema estava na primeira camada de solo, com cerca de 25 cm de estrume concentrado, devido ao facto de em anos anteriores ser um local de depósito.

É visível na imagem à esquerda, a profundidade da toalha freática, a cerca de 2,5m.

As soluções passam por fazer descargas de cisternas de água para diluir o concentrado de estrume; retirar através da retroescavadora a camada de solo com o concentrado de estrume e seguidamente repor com solo fértil; não semear aquela zona durante o tempo suficiente que as regas da cultura consigam diluir a concentração da camada superficial.